

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Carlo Vale**

Zagreb, veljača 2016.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Doc. Dr. Sc. Goran Krajačić

Student:

Carlo Vale

Zagreb, veljača 2016.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodogradnja i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Cr.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Carlo Vale

Mat. br.: 0035188837

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Analiza Strategije održivog razvoja - Zeleni plan Istre i izgradnje  
bloka C termoelektrane Plomin**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Analysis of the Strategy for sustainable development - Green Plan of  
Istria and construction of the block C of the Thermal Power Plant  
Plomin**

Opis zadatka:

Istarska županija je uz Grad Zagreb i Primorsko-goransku županiju jedna od najrazvijenijih regija Republike Hrvatske. Župan Istarske županije mr.sc. Valter Hlego je ukazao na potrebu za analizom tranzicije Istre u „post – fosilno“ i CO<sub>2</sub> neutralno društvo te je Istarska županija prva u Hrvatskoj izradila Strategiju održivog razvoja - Zeleni plan Istre. U navedenom planu termoelektrana Plomin je tretirana kao incident u prostoru.

U radu je potrebno:

1. Napraviti pregled sadašnjeg stanja i plana razvoja energetike u Zelenom planu Istre te planova za izgradnju bloka C termoelektrane Plomin.
2. Koristeći EnergyPLAN računalni program napraviti model energetskog sustava Istarske županije za referentnu 2012. godinu prema podacima u Zelenom planu te uključujući termoelektrane Plomin I i II.
3. Koristeći model iz 2. točke analizirati scenarije razvoja nisko-ugljičnog energetskog sustava Istarske županije do 2030. uzimajući u obzir tri slučaja izgradnje termoelektrane Plomin C, a) na ugljen, b) na prirodni plin te c) bez izgradnje bloka C. Analizu provesti u kontekst zatvorenog i otvorenog elektroenergetskog sustava, sa i bez gradnje 400 kV dalekovoda Melina – Pazin te uz cijenu CO<sub>2</sub> emisija od 25 EUR/t u 2030. godini.
4. Analiza i rezultati pod 2. i 3. trebaju sadržavati/prikazati: „kritični višak proizvođače električne energije“ [TWh/godišnje], ukupnu potrošnju energije [TWh/godišnje], ukupnu potrošnju energije bez OIE [TWh/godišnje], proizvodnju energije iz OIE [TWh/godišnje], uvoz energije [TWh/godišnje], izvoz energije [TWh/godišnje], emisije CO<sub>2</sub> [Mt], plaćanje uvoza energije [mil. EUR], plaćanje/naplata izvoza energije [mil. EUR], ukupan trošak scenarija [mil. EUR].

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korišćenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrade:

20. studenog 2016.

1. rok: 28. veljače 2016.

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.

2. rok (izvanredni): 29. lipnja 2016.

2. rok (izvanredni): 20. 06. 2016.


3. rok: 12. rujna 2016.

3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadetak zadan:

Predsjednik Povjerenstva:

  
Doc. dr. sc. Goran Krajačić

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom obrazovanja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i služeći se navedenom literaturom.

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Goranu Krajačiću te asistentu dipl.ing. Nikoli Matku na stručnoj i nesebičnoj pomoći u ovome radu.

Carlo Vale

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
SUMMARY .....	VI
SAŽETAK.....	VII
1. UVOD .....	1
1.1. Opis Istarske županije.....	1
1.2. Analiza energetske bilance i ukupna potrošnja energije za 2012. godinu i energetski potencijal .....	4
1.3. Energetski potencijal Istarske županije .....	12
2. METODE I MODELI .....	15
2.1. Izrada scenarija .....	15
2.1.1. Opis referentnog modela.....	15
2.1.2. Opis scenarija za 2030. godinu .....	16
2.2. EnergyPLAN .....	17
3. PODACI.....	19
3.1. Referentni model .....	19
3.2. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na ugljen.....	20
3.3. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na prirodni plin .....	21
3.4. Scenarij za 2030. godinu bez gradnje TE Plomin C.....	22
3.5. Otvoreni elektroenergetski sustav .....	23
3.6. Zatvoreni elektroenergetski sustav .....	24
3.7. Distribucijske krivulje .....	25
3.8. Troškovi.....	27
4. REZULTATI.....	30
4.1. Istra referentni model.....	30
4.2. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na ugljen.....	31
4.3. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na plin .....	35
4.4. Scenarij za 2030. godinu bez gradnje Plomina C .....	38
4.5. Usporedba scenarija za 2030. godinu .....	42
4.5.1. Otvoreni elektroenergetski sustav .....	42

4.5.2. Zatvoreni elektroenergetski sustav .....	45
5. ZAKLJUČAK .....	48
6. LITERATURA.....	49
7. DODATAK .....	50

## POPIS SLIKA

Slika 1. Položaj Istarske županije [1] .....	1
Slika 2. Općine i gradovi u Istarskoj županiji [4] .....	2
Slika 3. Prostorna gustoća stanovništva (lijevo); Prikaz izgrađenosti zemljišta (desno) [6] .....	5
Slika 4. Potrošnja energije u Istarskoj županiji [GWh] [6] .....	6
Slika 5. Potrošnja energije u industriji prema energentima [6] .....	7
Slika 6. Potrošnja goriva u sektoru prometa [6] .....	8
Slika 7. Potrošnja energenata unutar sektora zgradarstva [6] .....	9
Slika 8. Potrošnja sektora zgradarstva prema načinu trošenja energije [6] .....	9
Slika 9. Prikaz energetskog sustava Istarske županije [7] .....	11
Slika 10. Postrojenja iz Registra OIEKPP u Istarskoj županiji [10] .....	12
Slika 11. Karta solarnog potencijala Istarske županije [6] .....	13
Slika 12. Vjetropotencijal Istarske županije [6] .....	14
Slika 13. Prikaz modela [8] .....	18
Slika 14. Regulacija - EnergyPLAN .....	24
Slika 15. Distribucijska krivulja potrošnje električne energije .....	25
Slika 16. Distribucijska krivulja sunčevog zračenja za Istru 2012. godine .....	26
Slika 17. Distribucijska krivulja potrošnje energije za grijanje .....	26
Slika 18. Distribucijska krivulja hlađenja .....	27
Slika 19. Usporedba ukupnih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [TWh/god.] .....	32
Slika 20. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.] .....	33
Slika 21. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.] .....	33
Slika 22. Usporedba CEEP-a [TWh/god.] .....	34
Slika 23. Usporedba emisija CO <sub>2</sub> [Mt] .....	34
Slika 24. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [TWh/god.] .....	36
Slika 25. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.] .....	36
Slika 26. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.] .....	37
Slika 27. Usporedba CEEP-a [TWh/god.] .....	37
Slika 28. Usporedba emisija CO <sub>2</sub> [TWh/god.] .....	38
Slika 29. Potrošnja energije sa i bez OIE [TWh/god.] .....	39
Slika 30. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [mil. EUR] .....	40
Slika 31. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.] .....	40
Slika 32. Usporedba CEEP-a [TWh/god.] .....	41
Slika 33. Usporedba emisija CO <sub>2</sub> [Mt] .....	41
Slika 34. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.] .....	43
Slika 35. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [mil. EUR] .....	43
Slika 36. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.] .....	44
Slika 37. Usporedba emisija CO <sub>2</sub> [Mt] .....	44
Slika 39. Usporedba ukupnog godišnjeg troška scenarija [mil. EUR] .....	46

Slika 40. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.] .....	46
Slika 41. Usporedba emisija CO <sub>2</sub> [Mt] .....	47



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati popisa 2011. – Istarska županija [3] .....	3
Tablica 2. Neposredna potrošnja energije u istarskoj županiji [6] .....	6
Tablica 3. Potrošnja goriva u prometu [6].....	7
Tablica 4. Raspodijela potrošnje energije u sektoru zgradarstva [6] .....	8
Tablica 5. Podaci o potrošnji energije u referentnom scenariju korišteni u EnergyPLANU za 2012. godinu u GWh [6] .....	19
Tablica 6. Podaci o postrojenjima i snazi korišteni u MW .....	20
Tablica 7. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6] .....	21
Tablica 8. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6] .....	22
Tablica 9. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6] .....	23
Tablica 10. Varijabilni troškovi održavanja [8] .....	27
Tablica 11. Investicijski troškovi, vijek trajanja i troškovi održavanja [8].....	28
Tablica 12. Cijene goriva u odabranim godinama (EUR/GJ) [6].....	28
Tablica 13. Rezultati referentnog scenarija - otvoreni elektroenergetski sustav.....	30
Tablica 14. Rezultati scenarija za 2030. godinu, Plomin C ugljen .....	31
Tablica 15. Rezultati scenarija za 2030. godinu, Plomin C plin .....	35
Tablica 16. Rezultati scenarija za 2030. godinu, bez Plomina C .....	38
Tablica 17. Usporedba scenarija za 2030. god. - otvoreni elektroenergetski sustav.....	42
Tablica 18. Usporedba scenarija za 2030. god. - zatvoreni elektroenergetski sustav .....	45

## SUMMARY

This project analyzes the behaviour of the Isrian region's energy system according to the sustainable energy strategy - Zeleni plan Istre, including plans for building thermal power plant Plomin C. Several scenarios for 2030 have been analyzed, including a reference model for 2012. In addition to plants provided by Zeleni plan Istre the first scenario includes construction of coal power plant Plomin C. The second scenario includes natural gas power plant Plomin C and in the third scenario excludes building of Plomin C but there is still Plomin II in operation and Plomin I is not. Except the overall energy consumption analysis, RES energy production analysis, import/export of energy analysis, an economic analysis of total costs, import/export energy costs and CO<sub>2</sub> emissions are carried out. The analysis also includes „critical excess electricity production“. Each scenario was carried out in the context of open and closed power system.

Construction of 400 kV transmission line Melina - Pazin is planned for open power system scenarios in 2030 and its cost is estimated to 25 mil. eur but it's not calculated in EnergyPLAN simulation. According to the last ten-year HOPS plan from 2015, there probably wouldn't come to construction of this transmission line and there would be a new 220 kV transmission line instead. The results showed that the 400 kV transmission line is very important for the export of energy, which is the largest in the Plomin C - coal scenario and its value is 3,415 TWh /year, 49 % more than in the reference model.

EnergyPLAN analysis showed that "critical excess electricity production" in all closed power system scenarios is 55 GWh/year which is negligible while in the open power systems there's no "critical excess electricity production".

From the total annual costs point of view the best scenario is the one without building Plomin C and its total annual costs are 150.072 mil. eur. Energy production from RES is approximately the same in all scenarios and it counts about 0,64 TWh/year.

## SAŽETAK

U ovom završnom radu analizirano je ponašanje energetskeg sustava Istarske županije prema strategiji održivog razvoja – Zeleni plan Istre, uključujući planove za izgradnju bloka C termoelektrane Plomin. U vidu završnog rada, osim referentnog modela za 2012. godinu koji uključuje TE Plomin I i II, analizirano je još nekoliko scenarija za 2030. godinu u računalnom programu EnergyPLAN. Prvi scenarij, osim postrojenja predviđenih Zelenim planom, uključuje gradnju TE Plomin na ugljen. Drugi scenarij uključuje gradnju TE Plomin C na prirodni plin, a prema trećem scenariju nema gradnje TE Plomin C, ali blok II ostaje u pogonu dok se Plomin I prema predviđanjima gasi. Osim analize ukupne potrošnje energije sa i bez obnovljivih izvora energije (OIE), proizvodnje energije iz OIE, uvoza/izvoza energije izvršena je i ekonomska analiza ukupnih troškova, troškova uvoza/izvoza energije te analiza emisije CO<sub>2</sub> pri različitim scenarijima. Analiza sadrži i „kritični višak proizvodnje električne energije“. Svaki scenarij proveden je u kontekstu otvorenog i zatvorenog elektroenergetskog sustava.

Za scenarije otvorenog elektroenergetskog sustava u 2030. godini planirana je izgradnja 400 kV-nog dalekovoda Melina-Pazin, čija investicija nije uzeta u obzir u EnergyPLAN analizi, a iznosi otprilike 25 mil. eura iako se prema zadnjem desetogodišnjem planu Hrvatskog operatora prijenosnog sustava (HOPS) iz 2015. godine odustaje od gradnje tog dalekovoda i predlaže spajanje na 220 kV-nu mrežu. Rezultati su pokazali da je dalekovod Melina - Pazin veoma bitan za izvoz energije i on je najveći kod izgradnje TE Plomin C na ugljen gdje iznosi 3,415 TWh/godišnje, 49% više nego u referentnom modelu.

Analiza u EnergyPLAN-u je pokazala da u zatvorenom u svim scenarijima „kritični višak proizvodnje električne energije“ iznosi 55 GWh/godišnje što je zanemarivo dok ga kod otvorenog elektroenergetskog sustava nema. U zatvorenom sustavu nema izvoza energije, stoga gradnja TE Plomin C u tom kontekstu ne igra bitnu ulogu s obzirom da su potrebe za energijom u Istarskoj županiji zadovoljene proizvodnjom energije iz OIE.

Sa gledišta ukupnih godišnjih troškova najpovoljniji je scenarij bez izgradnje Plomina C i iznosi 150.072 mil. eura. Proizvodnja energije iz OIE je ista u svim scenarijima i iznosi 0,64 TWh/god zbog prednosti OIE u EnergyPLAN simulaciji.

## 1. UVOD

### 1.1. Opis Istarske županije

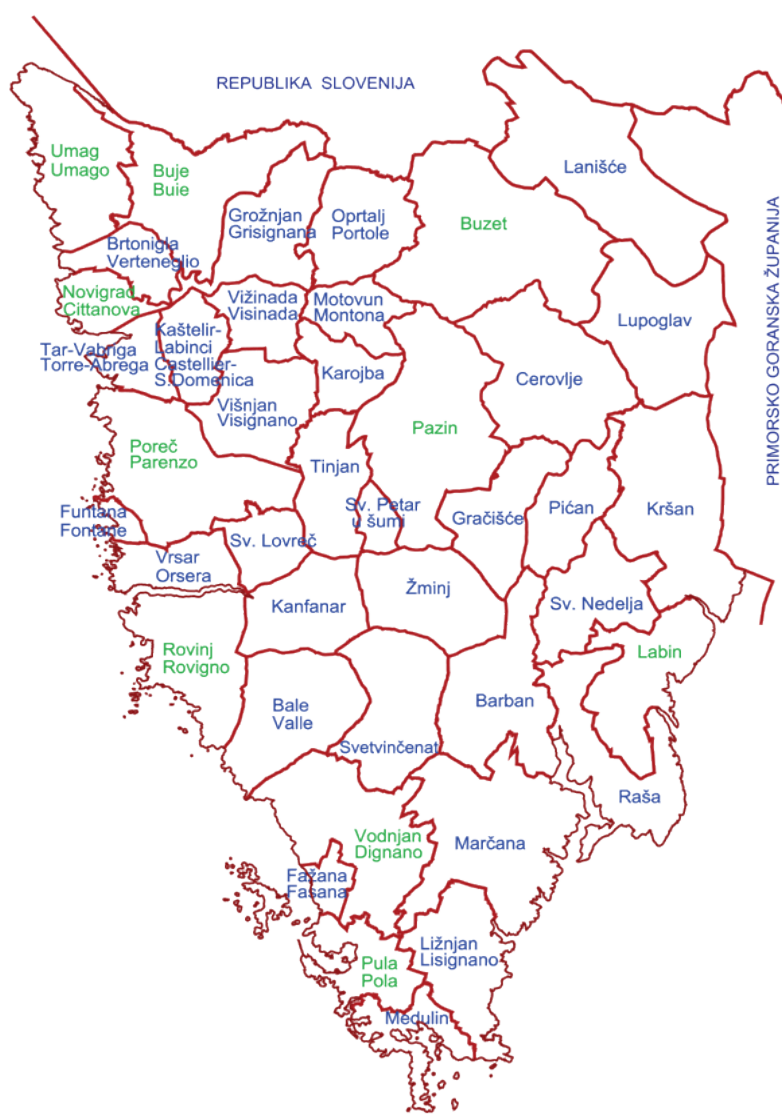
Istarska županija spada među najrazvijenije regije Republike Hrvatske. Zbog povoljnog geografskog položaja, između gospodarski najbogatijih dijelova Italije, Slovenije i ostalih regija Republike Hrvatske, Istarska županija je uspjela razviti kvalitetne poljoprivredne, uslužno-turističke te industrijsko-prerađivačke djelatnosti. Uvoz je u potpunosti pokriven izvozom, dok je izvoz po glavi stanovnika među najvećima u Republici Hrvatskoj.



Slika 1. Položaj Istarske županije [1]

Geografski Istarska županija zauzima najveći dio Istre – najprostornijeg (3.476 km<sup>2</sup>) jadranskog poluotoka. Ukupna površina županije iznosi 2.820 km<sup>2</sup> ili 4,98% državnoga teritorija. Dužina istarske obale, zajedno s otocima i otočićima iznosi 539 kilometara. [2]

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine ukupan broj stanovnika Istre iznosi 208.055 što čini 4,85% stanovništva Republike Hrvatske. Ukupan broj kućanstava je 134.251 što je prikazano u Tablica 1. Administrativno središte županije je Pazin sa 8.638 stanovnika dok je površinom najveći i najmnogoljudniji grad Pula sa 57.460 stanovnika [3]. Pula je najveća i najbitnija morska luka, a ujedno i jedini istarski grad u čijoj neposrednoj blizini se nalazi zračna luka.



Slika 2. Općine i gradovi u Istarskoj županiji [4]

<b>Županija</b>	<b>Ukupan broj stanovnika</b>	<b>Ukupan broj kućanstava</b>	<b>Stambene jedinice-ukupno</b>	<b>Stanovi za stalno stanovanje</b>
<b>Istarska županija</b>	208.055	79.377	134.251	103.695

Tablica 1. Rezultati popisa 2011. – Istarska županija [3]

Prema posljednjim relevantnim podacima iz Državnog zavoda za statistiku [5], Istarska županija u 2012. godini premašuje za 23,01% prosječni BDP po stanovniku Republike Hrvatske i ostvaruje 6,0% hrvatskog BDP-a. Prosječni BDP po stanovniku u Istarskoj županiji 2012. godine iznosio je 12.677 €. Najviše zaposlenih u Istri je u prerađivačkoj industriji 18,52%, zatim slijede uslužni sektor, trgovina i servisi 14,41%, hoteli i restorani 11,81% te građevinarstvo s 8,21%.

Turizam je jedan od najvažnijih ekonomskih sektora Istre i Zeleni plan o održivom razvoju bi, kao takav, pozitivno pridonio imidžu "zelene destinacije", dok bi dugoročno rezultirao otvaranjem novih radnih mjesta i korištenje prirodnih resursa bez štetnog djelovanja na okoliš i na zdravlje ljudi. No tranzicija iz sadašnjeg stanja, u željenu energetska neovisnost i ugljičnu neutralnost, nije brza niti lagana te zahtjeva pomno planiranje i provođenje.

S druge strane, izgradnja bloka Plomin C snage 500 MW također ima određene prednosti. Osim cijene ugljena, koja je najstabilnija, geografska lokacija Plominskog zaljeva ide na ruku izgradnji elektrane na ugljen, a uz planiranih 7.600 h režima rada godišnje i proizvodnje 3.6 TWh može zadovoljiti 17,5% godišnje potrebe za električnom energijom u Hrvatskoj [9]. Prirodni plin je kao energent skuplji od ugljena ali su emisije stakleničkih plinova manje. S druge strane, težnja moderne energetike je postupni prijelaz u post-fosilno doba logično nalaže da se prijeđe na obnovljive izvore energije i sama ideja o elektrani na ugljen nailazi na mnogo protivljenja, kako lokalnog stanovništva tako i stručnjaka.

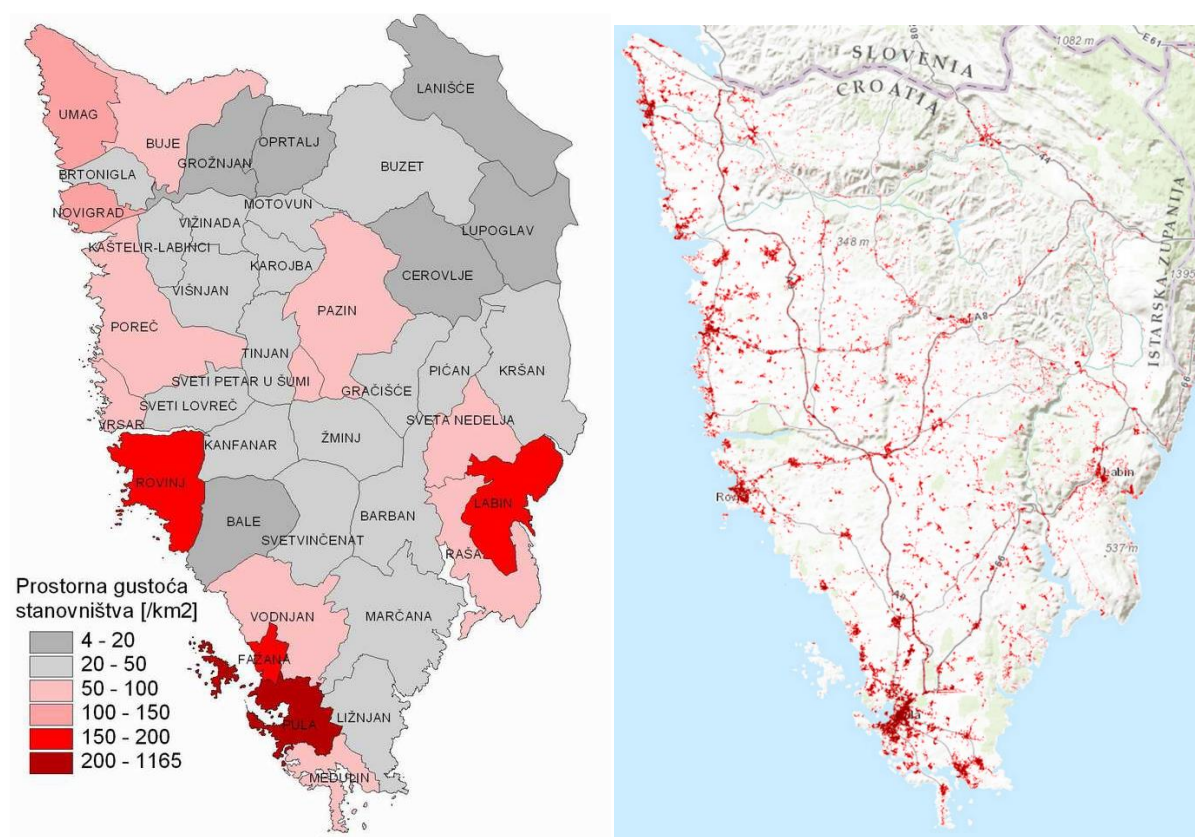
## 1.2. Analiza energetske bilance i ukupna potrošnja energije za 2012. godinu i energetska potencijal

U Zelenom planu [6] piše:

*Za analiziranje postojećeg stanja energetskog sustava te optimizacije lokalno prisutnih obnovljivih izvora energije u Zelenom planu koristila se RENEWISLANDS/ADEG metodologija za energetska planiranje, koja je ranije uspješno primjenjena u nekoliko slučajeva u svijetu, a u Hrvatskoj je testirana na primjeru otoka Mljeta, Lošinja, Unija te samog energetskog sustava republike Hrvatske. RENEWISLANDS/ADEG metodologija se sastoji od četiri osnovna koraka. U prvom koraku je potrebno mapirati odnosno prostorno-vremenski snimiti potrebe za energijom i ostalim resursima na promatranom području. U drugom koraku mapira se potencijal svih raspoloživih obnovljivih izvora energije i ostalih resursa da bi se u trećem koraku odabirale tehnologije koje korištenjem raspoloživih resursa mogu zadovoljiti identificirane sadašnje i buduće potrebe. Zadnji korak metodologije uključuje analizu scenarija u nekom od modela, računalnih programa za energetska planiranje te se provodi analiza sigurnosti dobave energije, tehnno-ekonomska analiza i procjena utjecaja odabranih rješenja na okoliš i društvo.*

*Zbog kompleksnosti samog zadatka metodologija je nešto pojednostavljena što se tiče mapiranja potreba i resursa, a proračuni u energyPLAN-u su samo na temeljnoj razini, sa pretpostavljenim, a ne stvarnim vremenskim distribucijskim krivuljama. Prema Zelenom planu Istre, energetska neovisan sustav Istarske županije trebao bi se temeljiti na:*

- 1. obnovljivim izvorima energije*
- 2. zgradama kao "pozitivnim energetskim postrojenjima"*
- 3. skladištenju energije*
- 4. naprednim električnim, toplinskim i plinskim mrežama te električnim vozilima integriranim u "Pametni energetska sustav"*



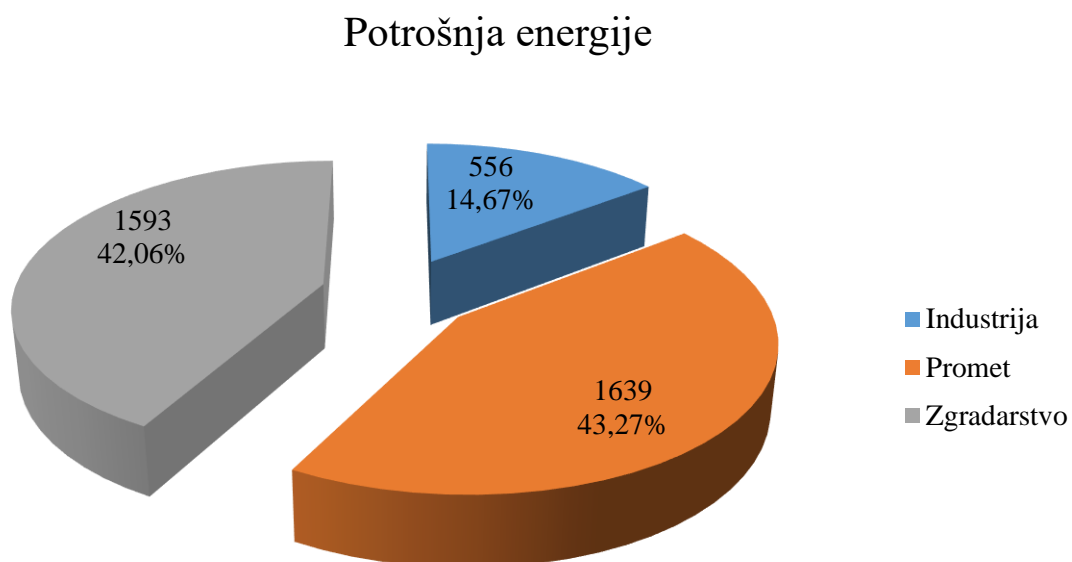
Slika 3. Prostorna gustoća stanovništva (lijevo); Prikaz izgrađenosti zemljišta (desno) [6]

Prema podacima iz 2012. godine, Istarska županija prosječno troši oko 3,787 TWh [6], odnosno 5,51% neposredne potrošnje energije u Republici Hrvatskoj. Stvarna potrošnja energije je nešto veća zbog potrošnje ugljena u TE Plomin, ali u Zelenom planu se ona ne uzima u obzir. U Zelenom planu razmatrala se potrošnja energije u tri sektora: industriji, prometu i zgradarstvu.



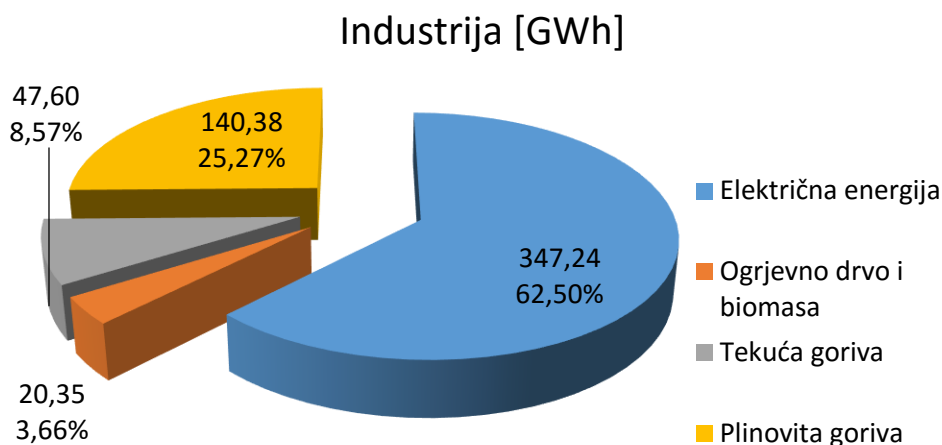
Tablica 2. Neposredna potrošnja energije u istarskoj županiji [6]

Neposredna potrošnja energije	GWh	Udio
<b>Industrija</b>	556	14,67%
<b>Promet</b>	1 639	43,27%
<b>Zgradarstvo</b>	1 593	42,06%
<b>Ukupno</b>	3 787	100%



Slika 4. Potrošnja energije u Istarskoj županiji [GWh] [6]

U Tablica 2 se nalazi ukupna potrošnja energije u županiji i GWh te potrošnja energije svakog sektora. Potrošnja prema sektorima je prikazana i na Slika 4. Najveću potrošnju energije od 1 639 GWh tj. udio od 43,27% ima sektor prometa. Iza njega je po potrošnji sektor zgradarstva u kojem se troši 1 593 GWh, a najmanji udio u potrošnji ima industrija od 14,67%, odnosno potrošnja tog sektora je 556 GWh.



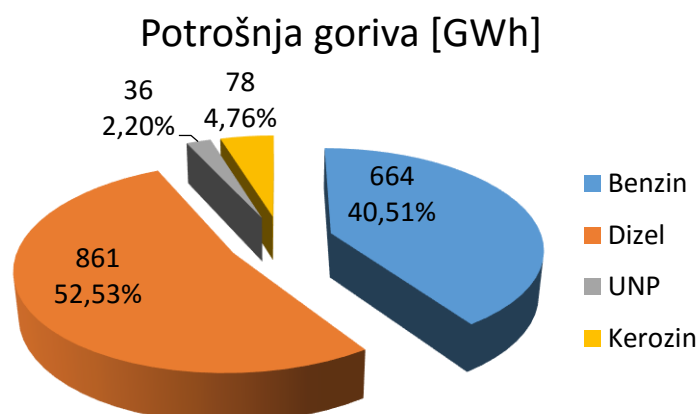
Slika 5. Potrošnja energije u industriji prema energentima [6]

Prema Zelenom planu [6], bez TE Plomin vidljivo je da se najmanje energije po sektorima troši u industriji, točnije 556 GWh. Potrošnja energije u ovom sektoru je prikazana na Slika 5, podijeljena prema energentima, od kojih se najviše troši električne energije 347,24 GWh tj. 62,5%, zatim plinovita goriva sa udjelom 25,27% pa na kraju tekuća goriva te ogrijevno drvo i biomasa sa postocima manjim od 10%. Činjenica da se u industriji najviše troši električne energije daje mogućnost uvođenja obnovljivih izvora energije u ovaj sektor.

Tablica 3. Potrošnja goriva u prometu [6]

Gorivo	t	GW h
<b>Benzin</b>	57 000	664
<b>Dizel</b>	74 000	861
<b>UNP</b>	2 800	36
<b>Kerozin</b>	6 800	78
<b>Ukupno</b>		1 639

U Tablica 3 prikazana je potrošnja goriva u sektoru prometa. U županiji je u 2012. godini prometovalo 112 578 vozila od koji je najviše osobnih automobila 96 860, a najmanje autobusa 230. Ako bi se vozilima pridodala vozila turista, a njihov ekvivalent na godišnjoj razini je 32 000 vozila, onda bi broj osobnih vozila iznosio 128 860 vozila što dodatno povećava potrošnju energije u ovom sektoru. [6]

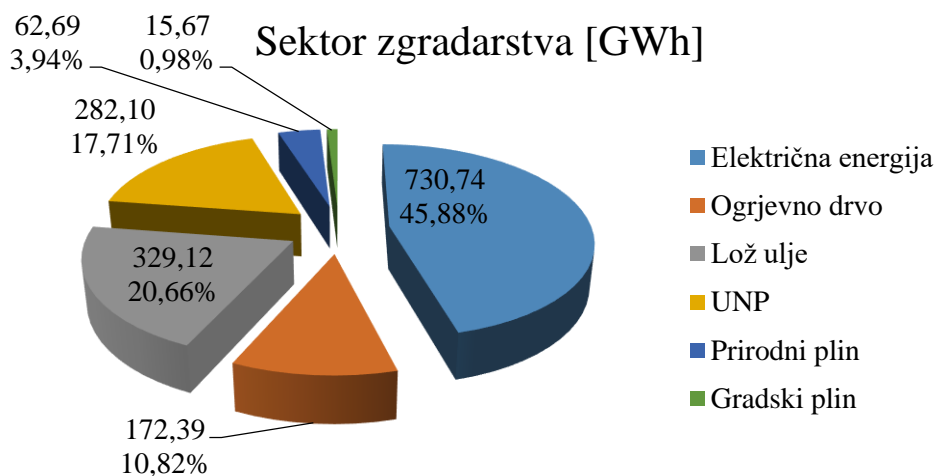


Slika 6. Potrošnja goriva u sektoru prometa [6]

Potrošnja energije u sektoru zgradarstva je po veličini odmah iza prometa i ukupna potrošnja iznosi 1 593 GWh. Raspodijela potrošnje energije u samom sektoru zgradarstva prikazan je u Tablica 4.

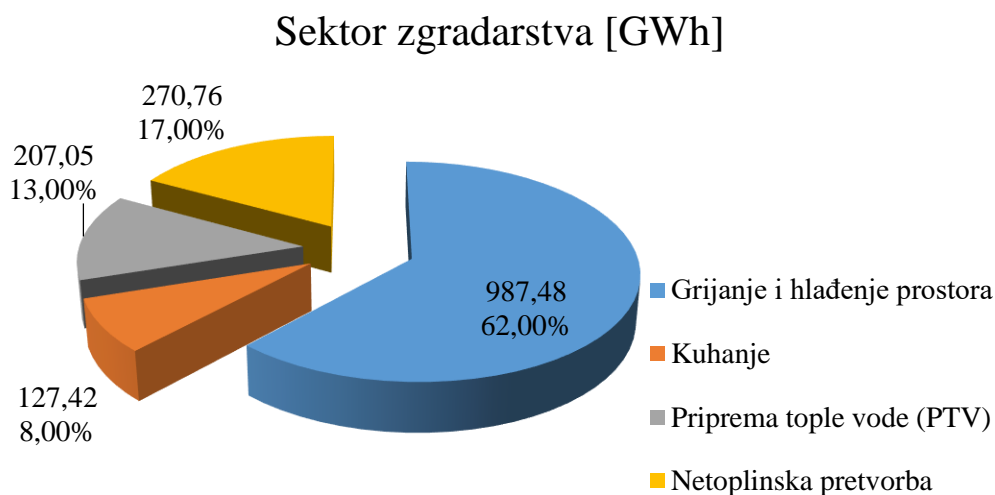
Tablica 4. Raspodijela potrošnje energije u sektoru zgradarstva [6]

Stambeni sektori	GWh	Udio
Kućanstva	1148,94	72,14%
Javni sektor	112,92	7,09%
Ugostiteljski i trgovački sektor	12,99	0,82%
Turistički sektor	212,85	13,36%
Industrija i MSP	105,01	6,59%
<b>Ukupno</b>	<b>1 592,71</b>	<b>100%</b>



Slika 7. Potrošnja energenata unutar sektora zgradarstva [6]

Iz Tablica 4 je vidljivo da je najveća potrošnja energije u stambenom sektoru u samim kućanstvima sa udjelom 72,14% ili 1148,94 GWh, a iz Slika 7 da od energenata u stambenom sektoru prednjači električna energija sa 730,74 GWh.



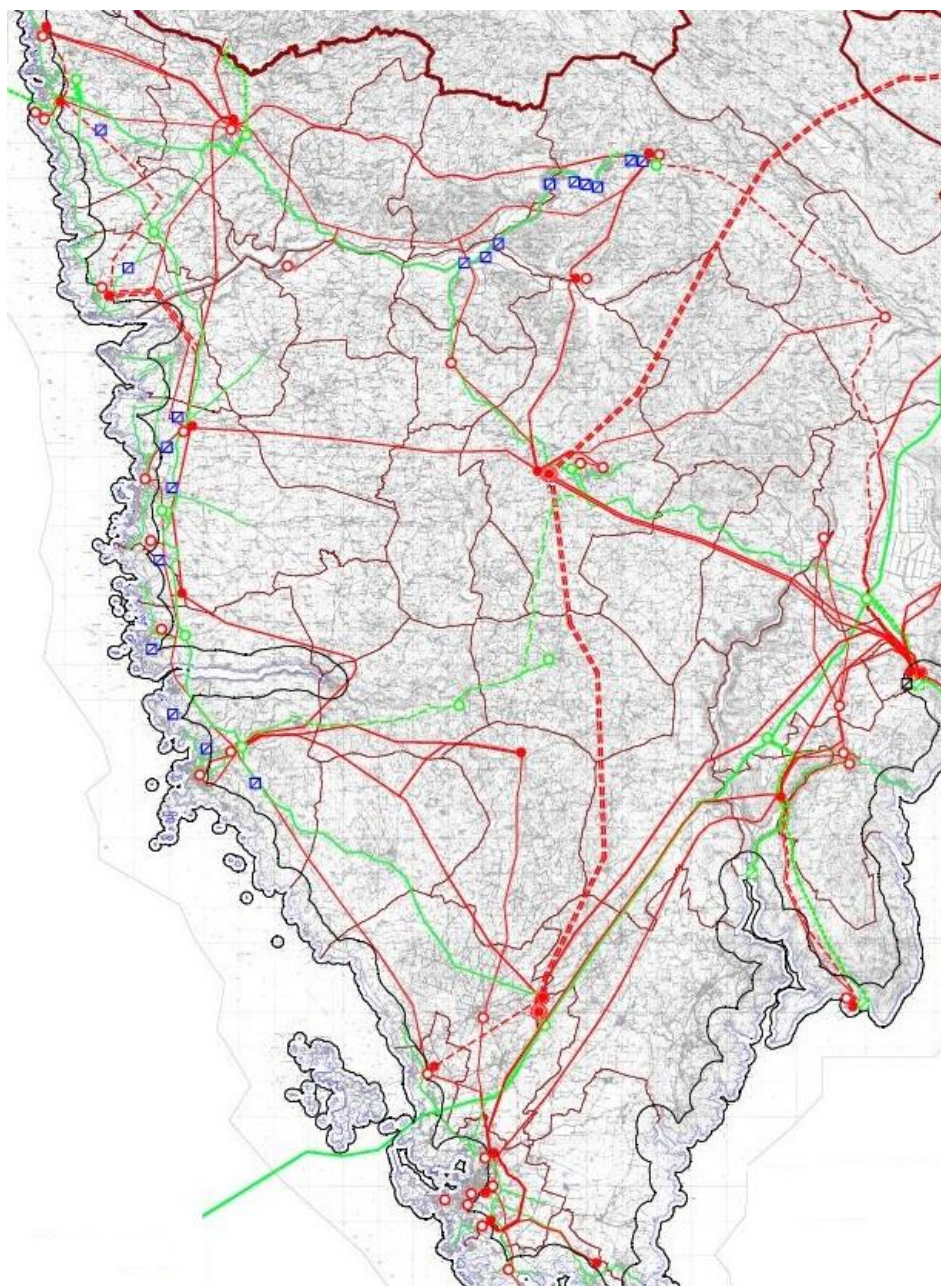
Slika 8. Potrošnja sektora zgradarstva prema načinu trošenja energije [6]

Iz Slika 8 je vidljivo da se najviše energije unutar sektora zgradarstva troši na grijanje i hlađenje prostora, ukupno 987,48 GWh.

Po pitanju samog energetskog sustava, u Istri se nalazi Termoelektrana Plomin (Plomin I i Plomin II) ukupne snage 330 MW, a planira se zamjena bloka Plomin I blokom Plomin C, nazivne snage 500 MW, što bi zajedno sa blokom II činilo ukupnu snagu postrojenja 710 MW.

Nadalje, u Istri postoje dva velika transformatorska postrojenja, TS Plomin i TS Guran (220/110 kV), a planira se gradnja transformatorsko rasklopnih postrojenja TS Guran I TS Pazin, oba 400/110 kV. Od dalekovoda izgrađeni su prijenosni dalekovodi 2x220 kV Pehlin – TE Plomin i TE Plomin - Guran, a planirana su dalekovodi 400 kV Melina – Pazin i Pazin – Guran. Trenutni kapacitet vodova i trafostanica je dostatan za napajanje vršnih opterećenja u županiji te bi izgradnja 400 kV vodova za potrebe termoelektrane Plomin C omogućila i značajan izvoz energije iz županije, a koji će se odvijati prema tržišnim principima i tzv. slobodnom pristupu treće strane. [6]

Od plinovoda su planirani magistralni plinovod za međunarodni transport DN 500 tlaka 75 bara, zatim platforma Ivana K – Vodnjan (podmorska dionica) i DN 500 radnog tlaka 75 bara Vodnjan – Kršan – Viškovo. [6]



Slika 9. Prikaz energetskeg sustava Istarske županije [7]

Što se obnovljivih izvora energije u Istarskoj županiji tiče, oni su relativno slabo zastupljeni i uglavnom se odnose na iskorištavanje biomase i solarne energije za zagrijavanje PTV-a u sektoru turizma. Proizvedena toplinska energija za PTV je 13,61 GWh. U županiji je instalirano 5 fotonaponskih sustava ukupne snage oko 1 GW uz očekivanu proizvodnju električne energije od oko 1,64 GWh. Geotermalna energija se iskorištava u Istarskim toplicama dok se najveći dio energije iz obnovljivih izvora dobiva iz biomase, oko 183,33 GWh godišnje. [6]

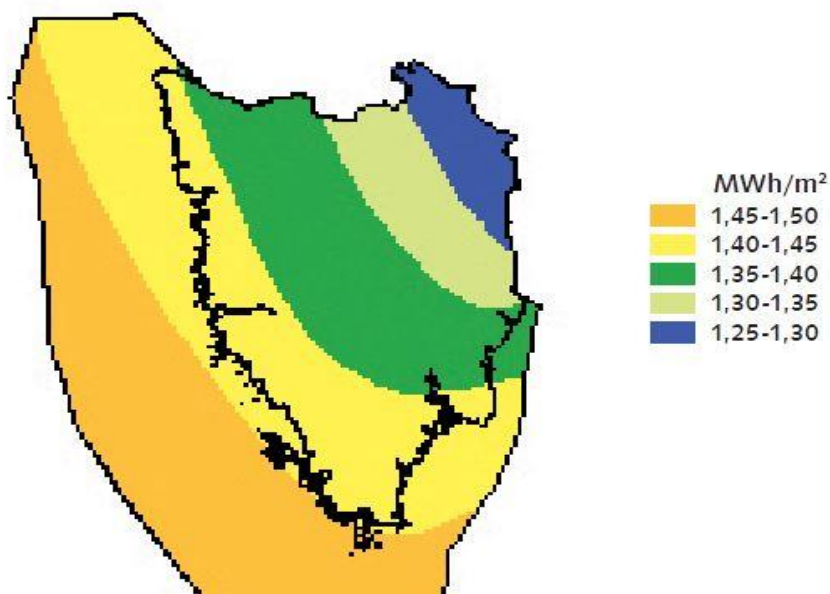


### 1.3. Energetski potencijal Istarske županije

Ukupno 54 postrojenja koja bi proizvodila energiju iz obnovljivih izvora je planirano prema registru OIEKPP [10]. Od toga je najviše fotonaponskih elektrana, ukupno njih 46 ukupne snage 7,7881 MW, od kojih je 5 već izgrađeno,. Najveću snagu od predviđenih postrojenja imaju vjetroelektrane 135,8 MW, a u planu je gradnja četiri vjetroelektrane. Planirana je također i gradnja hidroelektrane snage 245 kW, kogeneracije na biomasu snage 1 MW, elektrane na bioplin snage 1 MW i elektrane na deponijski plin snage 900 kW. Sva postrojenja prikazana su na Slika 8. U županiji se također planirana gradnja oko 80 MW kogeneracijskih postrojenja od kojih bi većina trebala koristiti kao gorivo prirodni plin, a manji dio bi trebao koristiti deponijski plin i bioplin. [6]



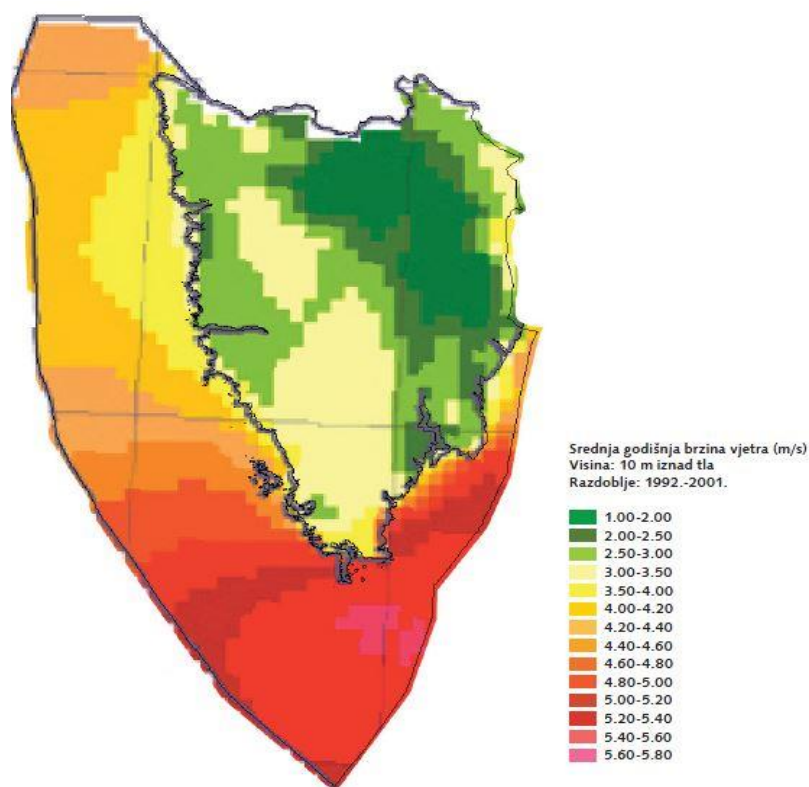
Slika 10. Postrojenja iz Registra OIEKPP u Istarskoj županiji [10]



Slika 11. Karta solarnog potencijala Istarske županije [6]

Na Slika 11 prikazan je solarni potencijal Istarske županije, a vrijednost se kreće između 1,3 MWh/m<sup>2</sup> na istočnom dijelu do 1,5 MWh/m<sup>2</sup> na jugozapadu. Vrijednost srednje godišnje ozračenosti na plohu pod optimalnim kutom koji na sjeveroistoku županije iznosi 36° je oko 1,57 MWh/m<sup>2</sup>, a vrijednost na jugozapadu iznosi 1,75 MWh/m<sup>2</sup>, a vrijednost optimalnog kuta je tu nešto niža i iznosi 35°. [6]





Slika 12. Vjetropotencijal Istarske županije [6]

Slika 12 prikazuje veliki vjetropotencijal za iskorištavanje energije vjetra na kopnu (prosječne brzine na visini od 10 m dosežu do 5 m/s), a posebice na moru (brzina vjetra kreće se od 3,5 do 6 m/s na južnijim dijelovima). [6]

Ukupni teoretski potencijal iz biomase je procijenjen na 914 GWh, dok je navedeno da je tehnički iskoristivi potencijal oko 20% teoretskog potencijala. [6]

Hidro potencijal u županiji je procijenjen na 13,2 GWh, a moguća je gradnja hidroelektrana na rijeci Boljunčici, Mirni i Raši ukupne snage 4,622 MW i na Botonegi 132 kW. Hidro potencijal Hrvatske je procijenjen i u studiji "Mogućnosti korištenja vodnog potencijala u strategiji energetskeg razvitka Republike Hrvatske" [11] u kojoj je procijenjen potencijal na dvije Istarske rijeke, Raši i Mirni, i prema toj studiji on je oko 60 GWh.

## 2. METODE I MODELI

### 2.1. Izrada scenarija

U vidu ovog rada razrađeno je par scenarija. Prvi model se odnosi na referentnu 2012. godinu izrađenu prema Zelenom planu Istre [6] (2012. godina je izabrana zbog dostupnosti podataka), uključujući TE Plomin I i II. Nadalje, prema predviđanjima Zelenog plana, napravljena su još tri scenarija razvoja nisko-ugljičnog energetskeg sustava Istarske županije do 2030. godine uzimajući u obzir tri slučaja izgradnje bloka TE Plomin C: a) na ugljen; b) na plin; c) bez izgradnje Plomina C. Scenariji za 2030. godinu provedeni su u vidu zatvorenog i otvorenog energetskeg sustava, odnosno sa i bez gradnje 400 kV-nog dalekovoda Melina – Pazin u svrhu analiziranja uvoza i izvoza. Analiza potrošnje energije je rađena u programu EnergyPLAN.

#### 2.1.1. Opis referentnog modela

Prema Zelenom planu izrađen je referentni scenarij za 2012. godinu. Podaci o potrošnji energenata kao i podaci o proizvodnji energije na području Istarske županije za referentnu godinu preuzeti su iz Programa energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji energije Istarske županije 2014.-2016. godine [12]. U scenariju je analizirana potrošnja energije sektora prometa, industrije i ostalih sektora. U sektoru industrije uzeta je u obzir potrošnja svih industrijskih subjekata na području županije, isključujući Holcim Koromačno, Istra cement Pula i vapnaru Most Raša.

Za analizu energetskeg sektora Istarske županije, kao što je i ranije navedeno, korišten je EnergyPLAN model te je prikupljene podatke o potrošnji energije u referentnoj godini trebalo dodatno prilagoditi. Ukupna potrošnja električne energije unosi se u apsolutnom iznosu te se od nje oduzima potrošnju električne energije za grijanje i hlađenje. Potrošnja ostalih energenata unosi se zasebno u svakom od sektora (stambeni, industrija i promet) prema energentima. Proizvodnja energije unesena je u za to predviđena polja, a u referentnoj godinu od obnovljivih izvora koristila se samo biomasa i sunčeva energija u solarnim kolektorima te PV modulima. Budući da EnergyPLAN model radi analizu sustava na satnoj razini uz podatke o godišnjoj proizvodnji i potrošnji energije te instaliranim kapacitetima i faktorima učinkovitosti potrebno

je unijeti i satne distribucijske krivulje za potrošnju električne energije, energije za hlađenje, proizvodnju energije iz obnovljivih izvora, itd. EnergyPLAN također radi i analizu troškova scenarija te analizu emisija CO<sub>2</sub>. Troškovi pojedinih tehnologija i cijena za energente preuzeti su iz dostupnih podataka EnergyPLAN modela [8]. Izračun emisija CO<sub>2</sub> uzrokovanih potrošnjom goriva u navedenim sektorima usklađen je s metodologijom Međuvladinog tijela za klimatske promjene (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC) te su preuzeti odgovarajući emisijski koeficijenti [13].

Dotični model je izrađen u kontekstu otvorenog sustava sa postojećom dalekovodnom infrastrukturom.

#### 2.1.2. Opis scenarija za 2030. godinu

Temeljni scenarij za 2030. godinu također je preuzet iz Zelenog plana [6], uključujući tri slučaja izgradnje TE Plomin C: na ugljen, plin, odnosno bez izgradnje Plomina C, ali uz rad sadašnjeg bloka II. Svi slučajevi su izrađeni u vidu otvorenog i zatvorenog sustava

Osnovna zamisao Zelenog plana [6] za 2030. godinu je postići 100% obnovljiv, samodostatan i održiv energetske sustav Istarske županije. Osnovne odrednice scenarija za 2030. godinu su povećanje energetske učinkovitosti u stambenom sektoru, povećanje energetske učinkovitosti u sektoru prometa, elektrifikacija sektora prometa te uvođenje biogoriva, povećanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije te uvođenje kogeneracija na prirodni i bioplin te uvođenje daljinskog centraliziranog grijanja i hlađenja u urbanim sredinama u županiji.

Procijenjeno je da gotovo polovina zgrada u Istarskoj županiji ima specifičnu potrošnju za grijanje između 250 i 300 kWh/m<sup>2</sup> potrebno je energetske obnoviti zgrade i smanjiti razinu potrošnje uz ekonomski opravdana ulaganja. Uz bolju izolaciju u stambenom sektoru potrebno je kontinuirano modernizirati rasvjetu i električne uređaje te se pretpostavlja da će se uvesti LED rasvjeta u barem 80% objekata u stambenom sektoru te tako potencijalno smanjiti potrošnju električne energije za rasvjetu oko 75%-80%. [6]

Potrebe za grijanjem u ruralnim sredinama zadovoljavati će se iz kotlova na biomasu i dizalica topline, dok će se potrebe za hlađenjem u urbanim sredinama podmirivati iz DHC, a u ruralnim sredinama iz električne energije.

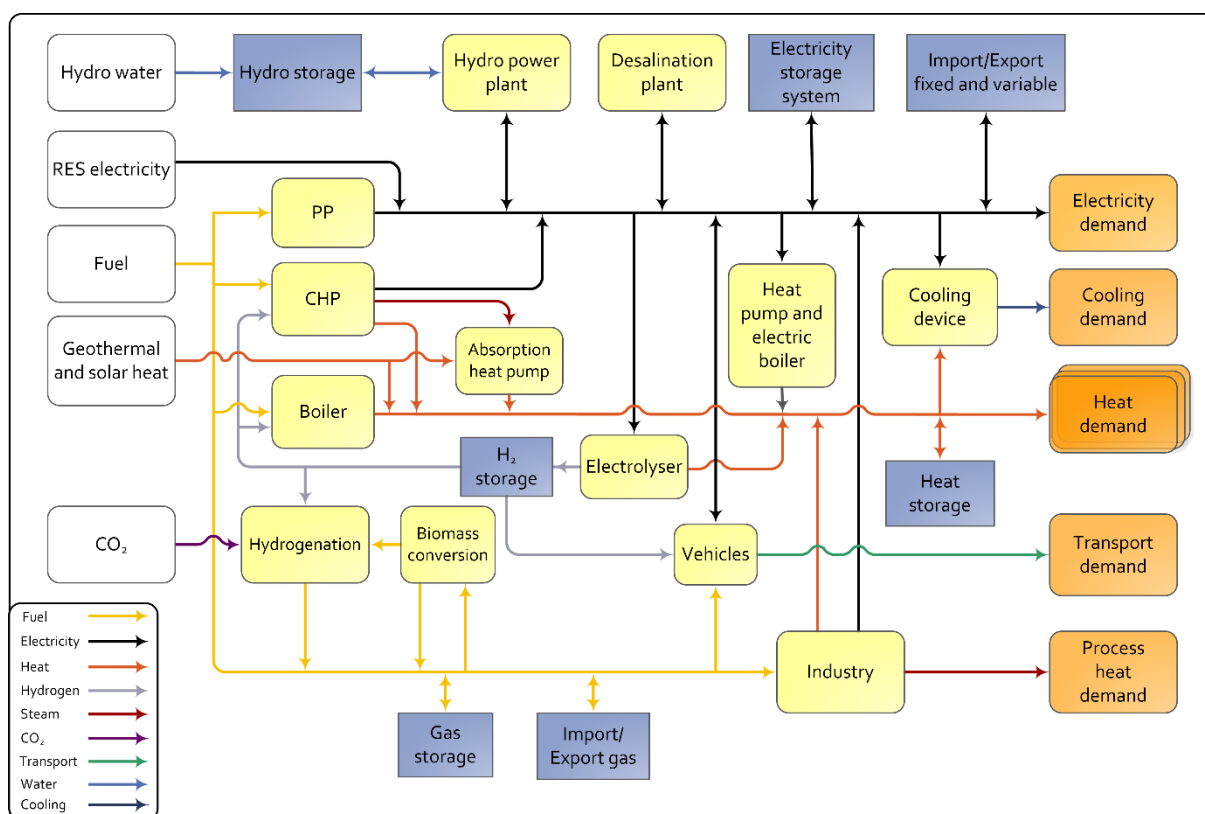
Također je predviđena i zamjena javne rasvjete LED rasvjetom uz regulaciju jačine rasvjete i na taj način je moguće ostvariti uštede u sektoru javne rasvjete do 70% dok se u prometu pretpostavlja elektrifikacija 80% prometa. [6]

Zatvoreni sustav izrađen je u vidu tehničke simulacije uz uravnoteženje potreba za toplinskom i električnom energijom, dok je otvoreni sustav izrađen u vidu ekonomske simulacije, koristeći strategiju bez ograničenja glede uvoza/izvoza električne energije u svrhu analize gradnje novog dalekovoda.

## 2.2. EnergyPLAN

U ovom radu je za model korišten softver EnergyPLAN. Radi se o već postojećem modelu koji se bavi analizom energetske sustava, dobavom energije (eng. *supply side model*), pretvorbom energije u samim energetske postrojenjima i analizom krajnje potrošnje od strane potrošača. Glavni cilj softvera je da se modeliraju i međusobno uspoređuju razne strategije i temeljem usporedbe pronađe najadekvatnije rješenje. EnergyPLAN kao optimizacijski model ne služi predviđanju događaja u budućnosti poput simulacijskih sustava nego pokazuje koji je najbolji način vođenja sustava na temelju raznih ekonomskih i tehničkih analiza te omogućuje nacionalno ili regionalno planiranje. Glavni ulazni podaci modela su potrošnja energije, instalirana snaga postrojenja, obnovljivi izvori energije, fiksni i varijabilni troškovi i različite regulacijske strategije, dok izlazne podatke predstavljaju energetske bilance, godišnja proizvodnja energije, uvoz/izvoz električne energije, kritični višak električne energije, potrošnja goriva i ukupni troškovi sustava. [8]

EnergyPLAN funkcionira kao model sa satnim vremenskim korakom i sve simulacije se svode na godinu dana sa 8.784 vremenska koraka. Kao takav, model analizira utjecaj intermitentnosti dnevne, tjedne ili sezone potrošnje energije u sustavu. EnergyPLAN optimizira rad sustava, a ne investicije u sustav, ali analizirajući različite investicije može se zaključiti koja je ekonomska alternativa najbolja.



Slika 13. Prikaz modela [8]

### 3. PODACI

#### 3.1. Referentni model

Referentni scenarij za 2012. godinu izrađen je prema u prethodnom poglavlju prikazanom modelu. U računalni program EnergyPLAN unosi se ukupna potrošnja električne energije, umanjena za potrošnju električne energije za grijanje i hlađenje. Prema preuzetim podacima potrošnja električne energije iznosila je 1.105 TWh, kad se oduzme dio za grijanje i hlađenje ostaje 885,53 GWh [6]. Potrošnja ostalih energenata unošena je zasebno u svakom od sektora (stambeni, industrija i promet) prema energentima. Proizvodnja energije unesena je u za to predviđena polja, a u referentnoj godinu od obnovljivih izvora koristila se samo biomasa i sunčeva energija u solarnim kolektorima te PV modulima. Potrošnja energije iz modelskih sektora industrije, poljoprivrede i građevinarstva se zbrojila i koristila kao ulaz u softver u sektoru industrije. Potrošnja u modelskim sektorima kućanstava i usluga se također zbrojila te dodala u tab 'individual'.

Tablica 5. Podaci o potrošnji energije u referentnom scenariju korišteni u EnergyPLANU za 2012. godinu u GWh [6]

<b>Industrija</b>	208,33
<b>Zgradarstvo</b>	1184,12
<b>Promet</b>	1640
<b>Električna energija ukupno</b>	1015
<b>Ukupno</b>	4047,45

Nadalje, uneseni su podaci za postojeće PV sustave snage 1059 kW. Energija za hlađenje u kućanstvima iznosi 52,89 GWh. [6]

Tablica 6. Podaci o postrojenjima i snazi korišteni u MW

Postrojenje	Instalirana snaga [MW]
PV kolektori	1,059
TE Plomin I	120
TE Plomin II	210

TE Plomin I i II uneseni su zajedno u PP2 (*"power plant"*), u tab *"electricity only"*.

Naponi postojećih vodova Istre su 2x110kV, 2x220 kV, ukupno 555 MVA tj. 355 MW.

### 3.2. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na ugljen

Temeljni model za 2030. godinu preuzet je iz Zelenog plana Istre [6]. Pretpostavljeno je da će se godišnja potrošnja električne energije smanjiti na 836,64 GWh zbog modernizacije i obnove objekata te povećanja efikasnosti električnih uređaja. Od ukupne potrošnje oduzima se i posebno ubacuje u EnergyPLAN 53,64 GWh za grijanje i 35,44 GWh za hlađenje. Predviđena postrojenja za 2030. godinu prikazana su u tablici 7. Dizalice topline, male kogeneracije i solarni kolektori služe za proizvodnju toplinske energije. U slučaju gradnje bloka C, gasi se blok I i na postojećih 210 MW bloka II dodaje se 500 MW, što čini krajnjih 710 MW. Snaga Plomina II se unosi u EnergyPLAN u polje PP2 (Power Plant), u tab *"supply"*, koji služi za proizvodnju električne energije (*"electricity only"*), a snaga Plomina C u PP1. Isto tako, u drugom slučaju snaga Plomina C se unosi u PP2, a Plomin II u PP1 u svrhu usporedbe. Potrošnja u sektorima industrije, prijevoza i kućanstva pretpostavljeni su i preuzeti iz Zelenog plana [6]. Model se simulira na način da PP2 radi tijekom cijele godine, a PP1 se pali kada je cijena MWh-a na tržištu veća od proizvodne cijene.

Tablica 7. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6]

	<b>Instalirani kapaciteti [MW]</b>
<b>TE Plomin C (ugljen)</b>	500
<b>TE Plomin II</b>	210
<b>Vjetroelektrane</b>	135,8
<b>Fotonaponske elektrane</b>	225
<b>Offshore vjetroelektrane</b>	150
<b>Male hidroelektrane</b>	4,754
<b>Male kogeneracije</b>	60
<b>Dizalice topline (daljinsko grijanje)</b>	15
<b>Dizalice topline (individualne)</b>	-

### 3.3. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na prirodni plin

Temeljni model za ovaj scenarij također je preuzet iz Zelenog plana Istre [6]. Jedina razlika između ovog modela i modela opisanog u točki 3.2. je da se gradi blok C TE Plomin koji koristi prirodni plin umjesto ugljena kao energent. Nazivna snage i vrste postrojenja prikazani su u tablici 8, ali se kod ovog modela kao ulazni podaci za softver koriste nazivna snaga 210 MW na ugljen u *supply* tabu kao *Power Plant 1* (PP1) i odnosi se na blok II i 500 MW na prirodni plin koji se unosi u polje PP2. U drugom slučaju se Plomin II unosi u PP1, a Plomin C u PP2. Model se simulira na način da PP2 radi tijekom cijele godine, a PP1 se pali kada je cijena na tržištu veća od proizvodne cijene.



Tablica 8. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6]

	<b>Instalirani kapaciteti [MW]</b>
<b>TE Plomin II (ugljen)</b>	210
<b>TE Plomin C (pr. plin)</b>	500
<b>Vjetroelektrane</b>	135,8
<b>Fotonaponske elektrane</b>	225
<b>Offshore vjetroelektrane</b>	150
<b>Male hidroelektrane</b>	4,754
<b>Male kogeneracije</b>	60
<b>Dizalice topline (daljinsko grijanje)</b>	15
<b>Dizalice topline (individualne)</b>	-

#### 3.4. Scenarij za 2030. godinu bez gradnje TE Plomin C

U ovom se scenariju na temeljni model za 2030. godinu nadodaje postojećih 210 MW TE Plomin II na ugljen kao PP1 u tab "supply", a služi za proizvodnju električne energije "electricity only". U drugom slučaju se podaci za Plomin II unose u PP2. Podaci o postrojenjima i nazivnim snagama pokazani su u tablici 9.

Tablica 9. Vrste postrojenja i nazivne snage [MW] [6]

	<b>Instalirani kapaciteti [MW]</b>
<b>TE Plomin II (ugljen)</b>	210
<b>Vjetroelektrane</b>	135,8
<b>Fotonaponske elektrane</b>	225
<b>Offshore vjetroelektrane</b>	150
<b>Male hidroelektrane</b>	4,754
<b>Male kogeneracije</b>	60
<b>Dizalice topline (daljinsko grijanje)</b>	15
<b>Dizalice topline (individualne)</b>	-

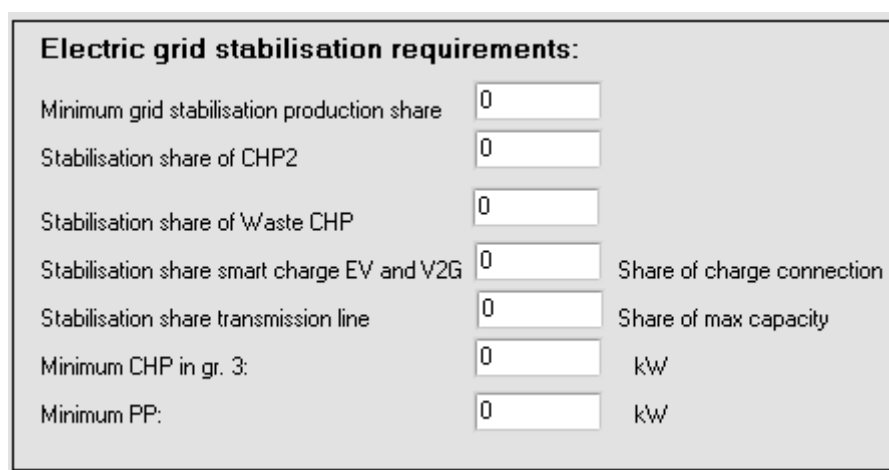
### 3.5. Otvoreni elektroenergetski sustav

Prethodno navedeni modeli za 2030. godinu provedeni su kao otvoreni elektroenergetski sustavi, omogućujući uvoz i izvoz uz gradnju novog 400 kV-nog dalekovodnog sustava Melina – Pazin koji se nadodaje na postojeću infrastrukturu uz prestanak rada starog 100kV voda . Kapacitet vodova je 530 MW i taj se podatak koristi kao ulazni podatak u EnergyPLAN, dok se za referentnu godinu koriste postojeći vodovi, preuzeti iz Zelenog plana i pritom se koristi strategija ekonomske simulacije modela ("*Market economic simulation*"). Rezultirajuća tržišna cijena za vanjsko tržište procijenjena je na 68 EUR/MWh koristeći cjenovnu krivulju "*hour\_nordpool.txt*" uz vrijednost "*multiplication factor-a*" 0,6 za 2030. godinu. U referentnom scenariju cijena je preuzeta iz Zelenog plana [6].

### 3.6. Zatvoreni elektroenergetski sustav

Svi modeli za 2030. godinu također su provedeni kao zatvoreni elektroenergetski sustavi i pritom su onemogućeni uvoz i izvoz. U zatvorenom elektroenergetskom sustavu vrijednost kapaciteta vodova je postavljena na iznos 0 i za takav model koristi se strategija tehničke simulacije ("*Technical simulation*").

Što se same simulacije otvorenog i zatvorenog sustava tiče nisu postavljena nikakva ograničenja unutar samog sustava, tj. sustav nije samoregulirajući i smatra se da se sustav regulira izvana.



Electric grid stabilisation requirements:		
Minimum grid stabilisation production share	<input type="text" value="0"/>	
Stabilisation share of CHP2	<input type="text" value="0"/>	
Stabilisation share of Waste CHP	<input type="text" value="0"/>	
Stabilisation share smart charge EV and V2G	<input type="text" value="0"/>	Share of charge connection
Stabilisation share transmission line	<input type="text" value="0"/>	Share of max capacity
Minimum CHP in gr. 3:	<input type="text" value="0"/>	kW
Minimum PP:	<input type="text" value="0"/>	kW

Slika 14. Regulacija - EnergyPLAN

### 3.7. Distribucijske krivulje

Krivulja opterećenja električne mreže preuzeta je iz Zelenog plana [6], a rađena je prema podacima za Hrvatsku i skalirana na razinu županije, svedena na bezdimenzijsku veličinu prema jednadžbi:

$$E_{xh} = \frac{E_h}{E_{h,max}}$$

Jednadžba 1.

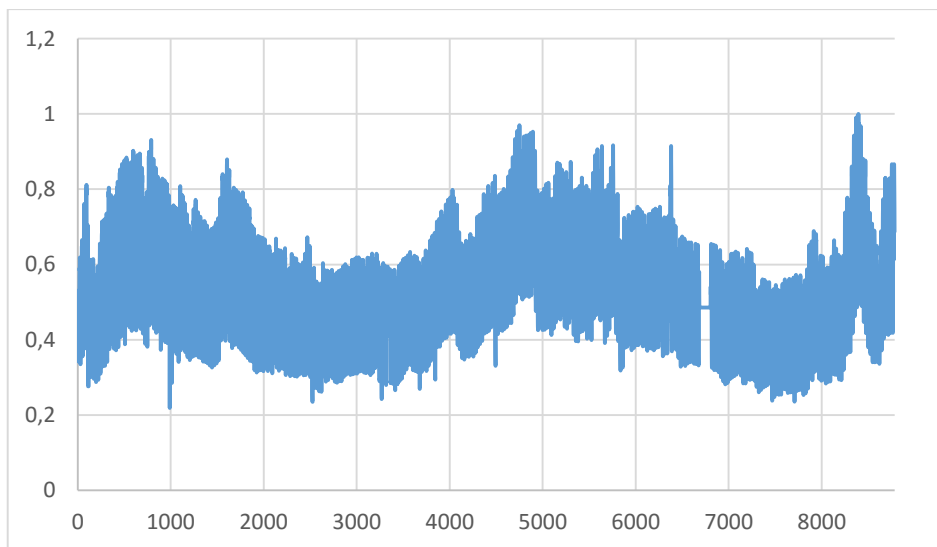
gdje je:

$E_{xh}$  - bezdimenzijska satna vrijednost opterećenja

$E_h$  - satna vrijednost opterećenja preuzeta iz EnergyPLAN-a

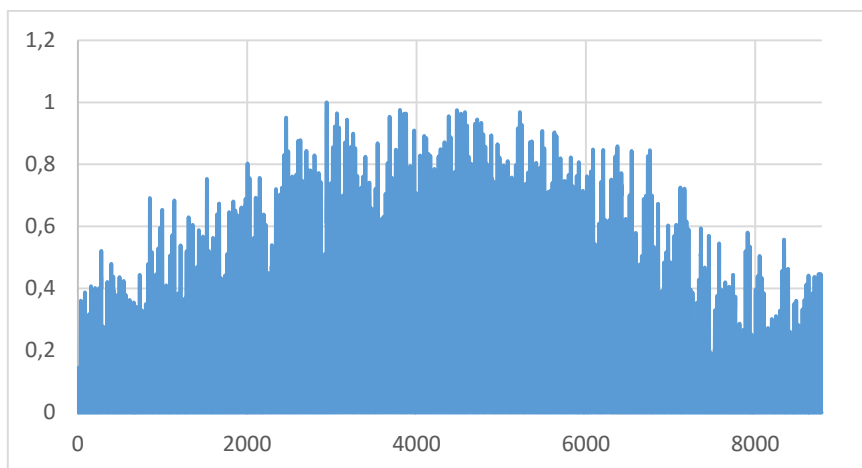
$E_{h,max}$  - maksimalna satna vrijednost preuzeta iz EnergyPLAN-a

h - sat (1 - 8784)



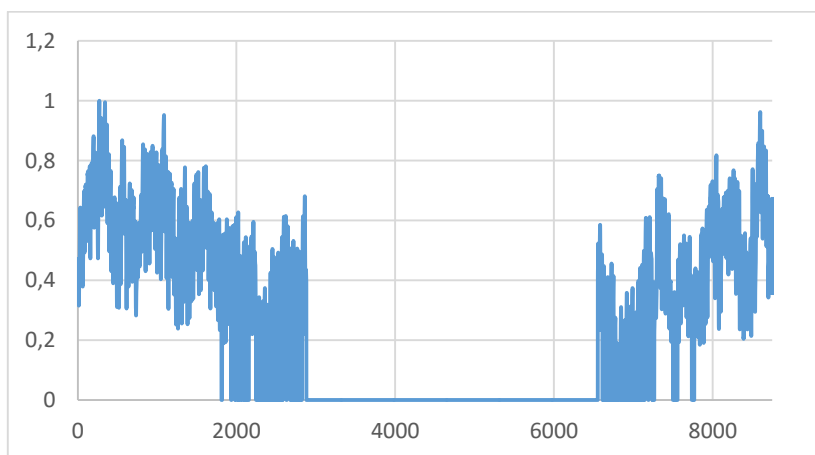
Slika 15. Distribucijska krivulja potrošnje električne energije

Distribucijska krivulja sunčevog zračenja je također preuzeta iz Zelenog plana Istre [6], izrađena pomoću Meteonorma i prikazana je na Slika 16, svedena na bezdimenzijsku vrijednost prema Jednadžba 1.

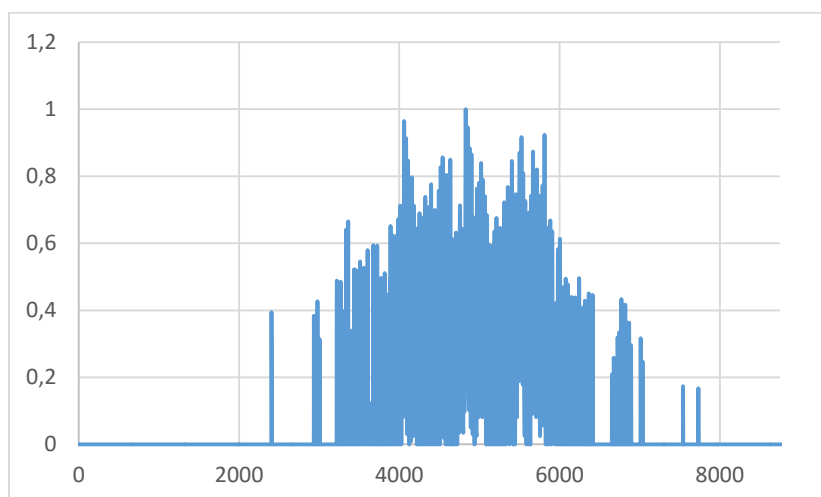


Slika 16. Distribucijska krivulja sunčevog zračenja za Istru 2012. godine

Distribucijska krivulja količine vjetra se već nalazi u EnergyPLAN-u pod imenom *Croatia wind all 2007*. Bezdimenzijska krivulja potrošnje energije za grijanje, preuzeta iz Zelenog plana Istre, vidljiva je na Slika 17, a bezdimenzijska distribucijska krivulja za hlađenje na Slika 18. Obje su dobivene pomoću Jednadžba 1.



Slika 17. Distribucijska krivulja potrošnje energije za grijanje



Slika 18. Distribucijska krivulja hlađenja

### 3.8. Troškovi

Prilikom ekonomske analize scenarija potrebno je u EnergyPLAN unijeti podatke o investicijskim, fiksnim i varijabilnim troškovima. Korišteni investicijski i varijabilni troškovi također su preuzeti iz Zelenog plana, a radi se o već postojećim podacima u EnergyPLAN-u [8].

Tablica 10. Varijabilni troškovi održavanja [8]

Vrsta	Cijena (EUR/MWh <sub>e</sub> )
<b>Centralni toplinski sustav kogeneracije</b>	
<b>Kotao</b>	0,15
<b>CHP</b>	2,7
<b>Termoelektrane</b>	
<b>TE na ugljen</b>	2,654
<b>TE na plin</b>	2,80
<b>Hidroelektrana</b>	1,19
<b>Spremnici</b>	
<b>Pumpa</b>	1,19
<b>Turbina</b>	1,19

Tablica 11. Investicijski troškovi, vijek trajanja i troškovi održavanja [8]

Tip postrojenja	Investicija (kEUR/kW <sub>e</sub> )	Vijek trajanja	Troškovi pogona i održavanja (% investicije)
<b>Mikro CHP jedinice</b>	0,84	25	2,3
<b>TE Plomin C - plin</b>	0,69	30	2,3
<b>TE Plomin C - ugljen</b>	1,82	26	0
<b>Fotonaponske elektrane</b>	2,6	30	0,77
<b>Protočne hidroelektrane</b>	1,9	50	2,7
<b>Elektrane na biomasu</b>	0,89	26	1,8
<b>Vjetroelektrane</b>	1,25	20	3

Tablica 12. Cijene goriva u odabranim godinama (EUR/GJ) [6]

	Ugljen	Loživo ulje	Dizel	Benzin	Prirodni plin	Biomasa
<b>2012.</b>	2,7	8,8	11,7	11,9	5,9	7,1
<b>2030.</b>	4,48	13,3	16,6	16,7	10,53	7,3

U EnergyPLAN modelu prilikom izrade scenarija za 2030. godinu nisu uzeti u obzir investicijski troškovi izgradnje 400 kV-nog dalekovoda. Izgradnje takvog dalekovoda uz cijenu 350 000 eura/km iznosila bi oko 25.000.000 eura.

Marginalni troškovi proizvodnje jednog MWh-a iz elektrane na ugljen su 59 EUR/MWh-u, a iz elektrane na plin 99 EUR/MWh.

Cijena CO<sub>2</sub> emisija u 2030. godini je prema zadatku postavljena na 25 EUR/t, dok je u 2012. godini prema Zelenom planu odabrana cijena 15,2 EUR/t. Diskontna stopa je 3%.

Pretpostavljena cijena električne energije na vanjskom tržištu za 2030. godinu je 68 EUR/MWh.



## 4. REZULTATI

### 4.1. Istra referentni model

Rezultati referentnog scenarija u slučaju otvorenog elektroenergetskog sustava prikazani su u tablici 13..

Tablica 13. Rezultati referentnog scenarija - otvoreni elektroenergetski sustav

"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	8,808
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	8,606
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,00164
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0,058
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	1,694
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	2,789252
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	1.638
Naplata izvoza električne energije [mil. EUR]	118.114
Ukupni godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	141.441

Ovim modelom je dobivena ukupna potrošnja električne energije 8,808 TWh/godišnje, od čega se samo 0,202 GWh/godišnje troši iz obnovljivih izvora energije. Uvozi se tek 58 GWh/godišnje, dok se izvozi 1,694 TWh/godišnje. Godišnje emisije CO<sub>2</sub> iznose 2,789 Mt, od izvoza se zaradi 118.114 mil. eura te je ukupni trošak scenarija procijenjen na 141.441 mil. eura.

## 4.2. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na ugljen

Rezultati scenarija prikazani su u tablici 14.

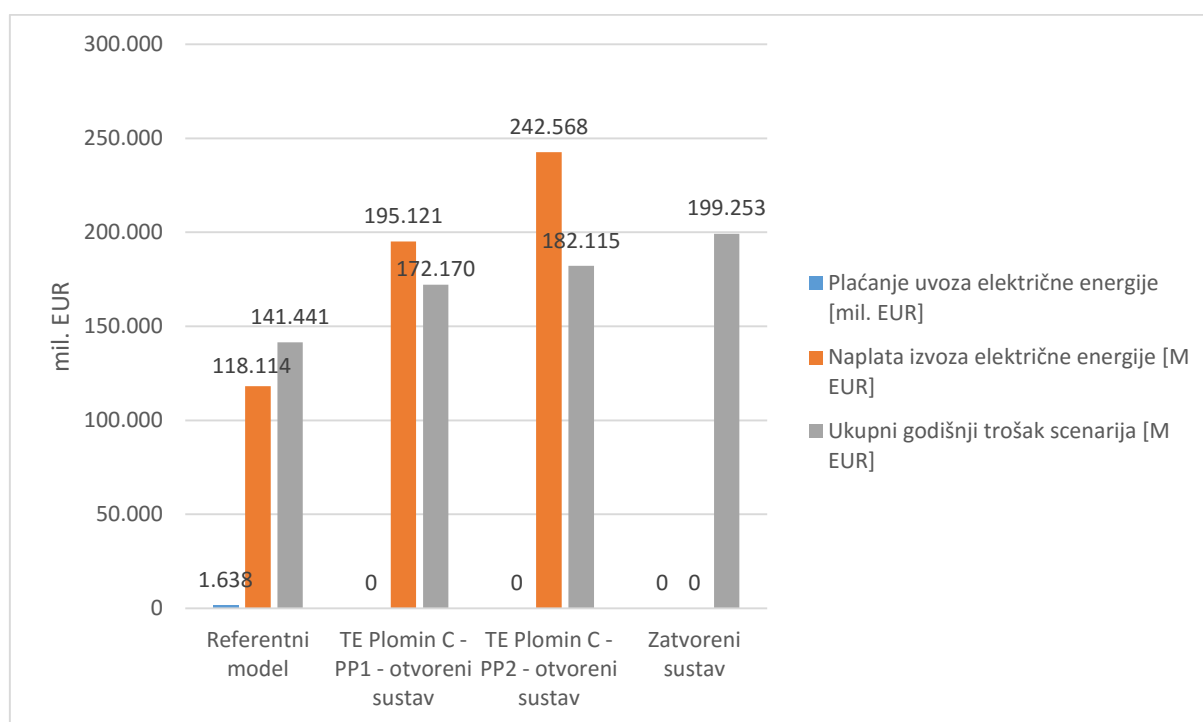
Tablica 14. Rezultati scenarija za 2030. godinu, Plomin C ugljen

	Otvoreni sustav		Zatvoreni sustav
	TE Plomin C - PP1	TE Plomin C - PP2	
"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0	0,0002	0,055
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	12,423	14,407	3,090
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	11,707	13,69	2,374
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,639	0,639	0,639
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0	0	0
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	3,415	4,418	0
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	3,974664	4,663731	0,668
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	0	0	0
Naplata izvoza električne energije [mil. EUR]	195.121	242.568	0
Ukupni godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	172.170	182.115	199.253

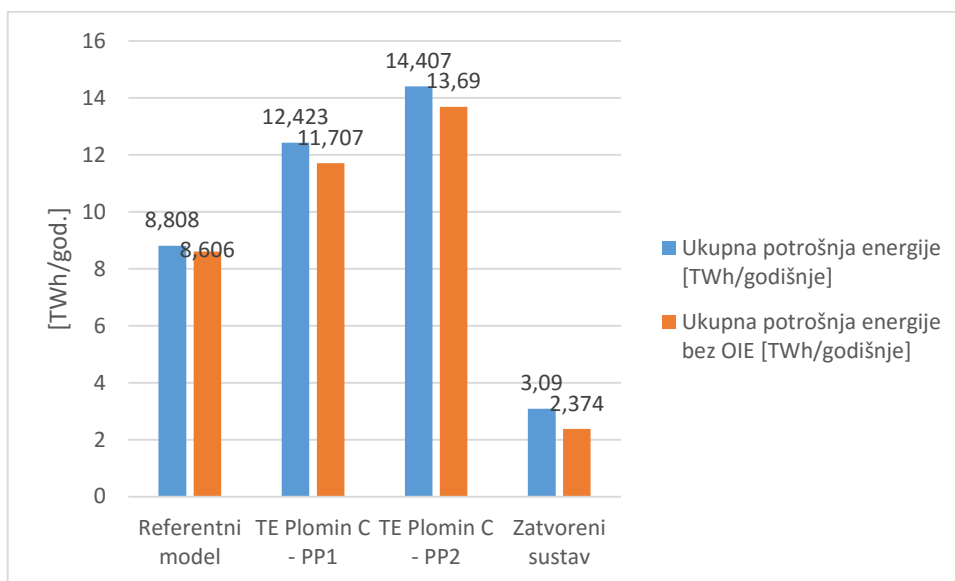
Najmanji troškovi scenarija su u slučaju kada blok C radi kao *"power plant 1"*, a blok II kao *"power plant 2"*. U zatvorenom sustavu, pošto nema izvoza energije već sustav zadovoljava samo vlastite potrebe za energijom (tehnička simulacija), ukupna potrošnja je znatno manja nego u otvorenom sustavu ali zato nema ni dobitka od izvoza. Emisije CO<sub>2</sub> su znatno manje nego u otvorenom sustavu. "Kritični višak proizvodnje električne energije" je zanemariv kod otvorenog sustava, dok u zatvorenom sustavu on iznosi također malih 0,055 TWh/godišnje. Uvoza nema

niti u jednom slučaju jer sustav pokriva vlastitu potražnju za energijom a višak ide u izvoz. Proizvodnja energije iz OI je ista u svim varijantama rada bloka C. PP2 radi cijele godine jer prema simulaciji u EnergyPLAN-u nisu predviđeni zastoji u radu zbog remonta i faktor opterećenja je 1. Proizvodnja energije iz OIE je ista u svim slučajevima i iznosi oko 0,64 TWh/godišnje.

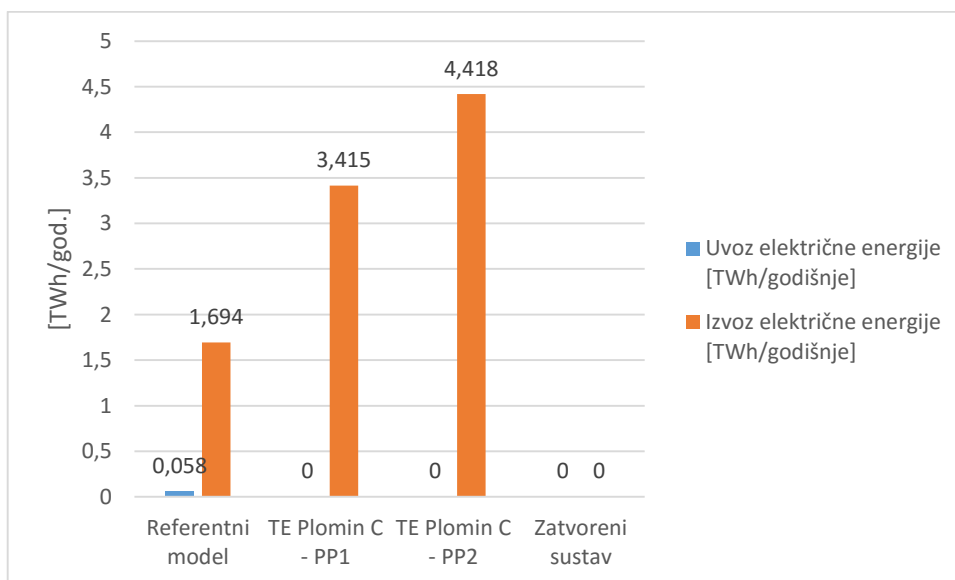
Usporedbe scenarija sa referentnim modelom dani su u sljedećim grafovima.



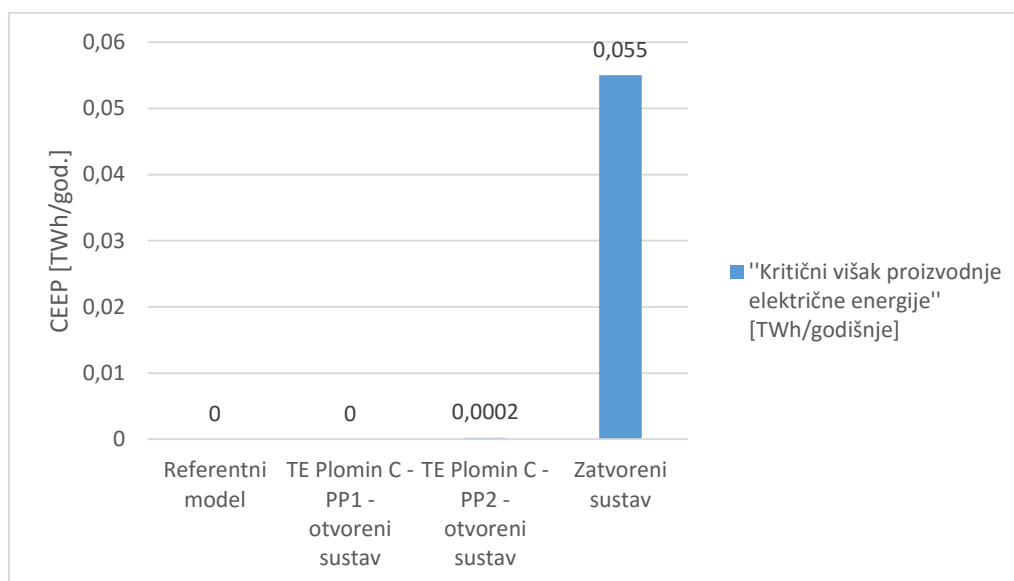
Slika 19. Usporedba ukupnih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [TWh/god.]



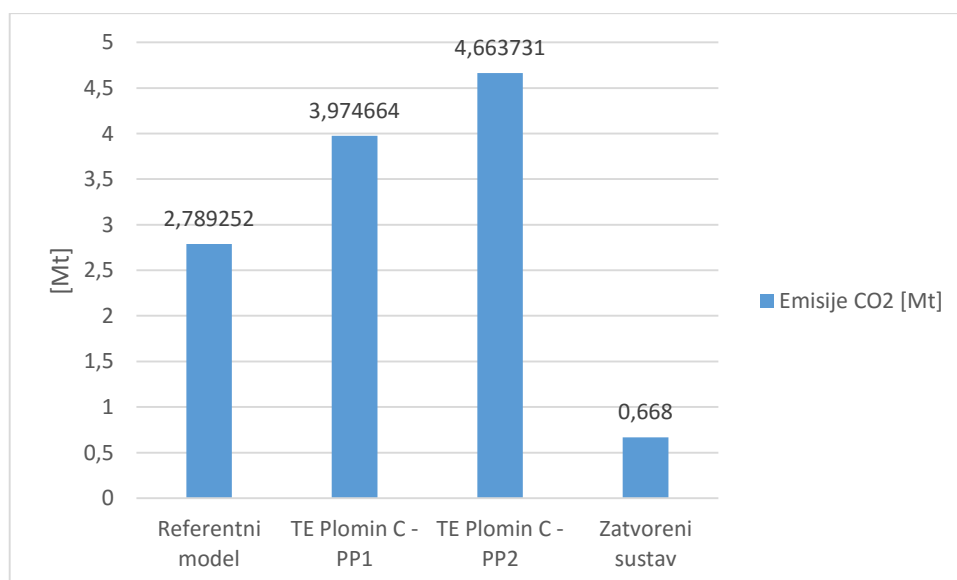
Slika 20. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.]



Slika 21. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.]



Slika 22. Usporedba CEEP-a [TWh/god.]

Slika 23. Usporedba emisija CO<sub>2</sub> [Mt]

## 4.3. Scenarij za 2030. godinu uz gradnju TE Plomin C na plin

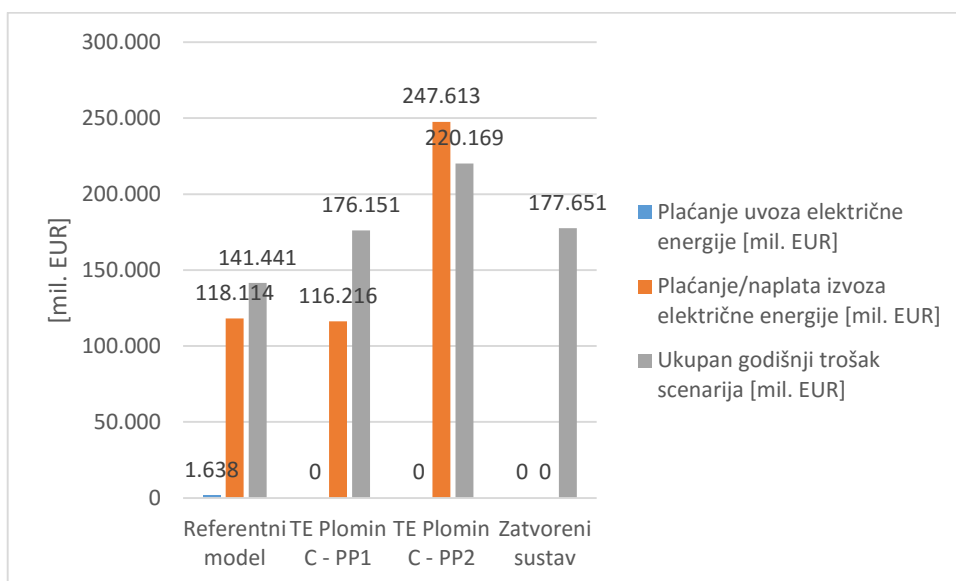
Rezultati scenarija prikazani su Tablica 15.

Tablica 15. Rezultati scenarija za 2030. godinu, Plomin C plin

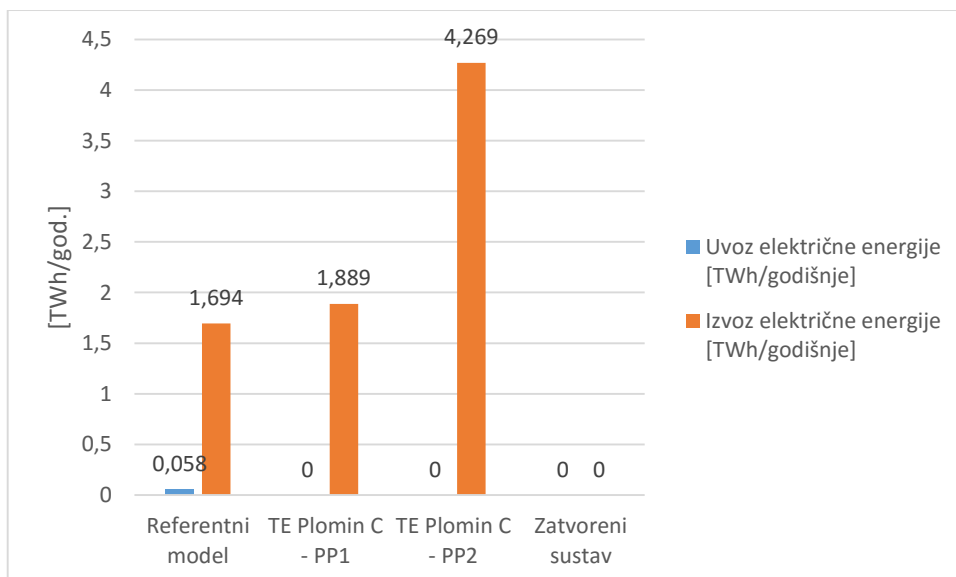
	Otvoreni sustav		Zatvoreni sustav
	TE Plomin C - PP1	TE Plomin C - PP2	
"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0	0,00016	0,055
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	7,853	10,425	2,732
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	7,13522	9,709	2,515
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,638	0,637	0,637
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0	0	0
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	1,889	4,269	0
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	2,276	2,283	0,46
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	0	0	0
Plaćanje/naplata izvoza električne energije [mil. EUR]	116.216	247.613	0
Ukupan godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	176.151	220.1693	177.651

I u ovom scenariju najmanji ukupni troškovi su u slučaju kada Plomin II radi kao PP1. Uvoza energije kod ovog scenarija nema jer prema simulaciji u EnergyPLAN-u nije predviđen zastoj rada zbog remonta i sustav pokriva vlastitu potrebu za energijom, a višak ide u izvoz. Najviše se energije troši i najviše energije izvozi u slučaju kada Plomin C radi cijele godine (PP2), ali su u tom slučaju ukupni troškovi veći (veća cijena energenta, veći troškovi održavanja). Emisije CO<sub>2</sub> su najmanje u slučaju zatvorenog sustava. Proizvodnja energije iz OIE je ista svim slučajevima rada bloka C.

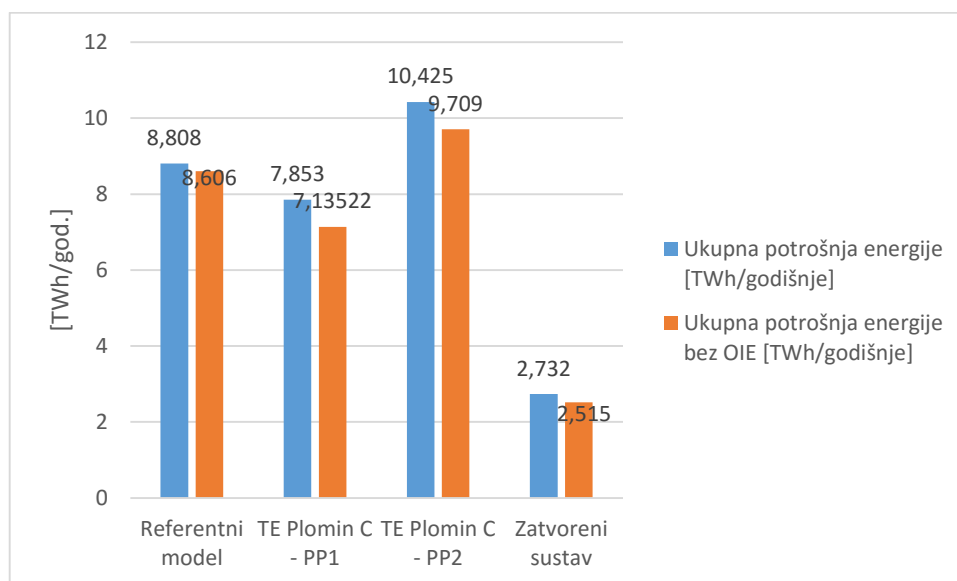
Usporedbe scenarija sa referentnim modelom dani su u sljedećim grafovima.



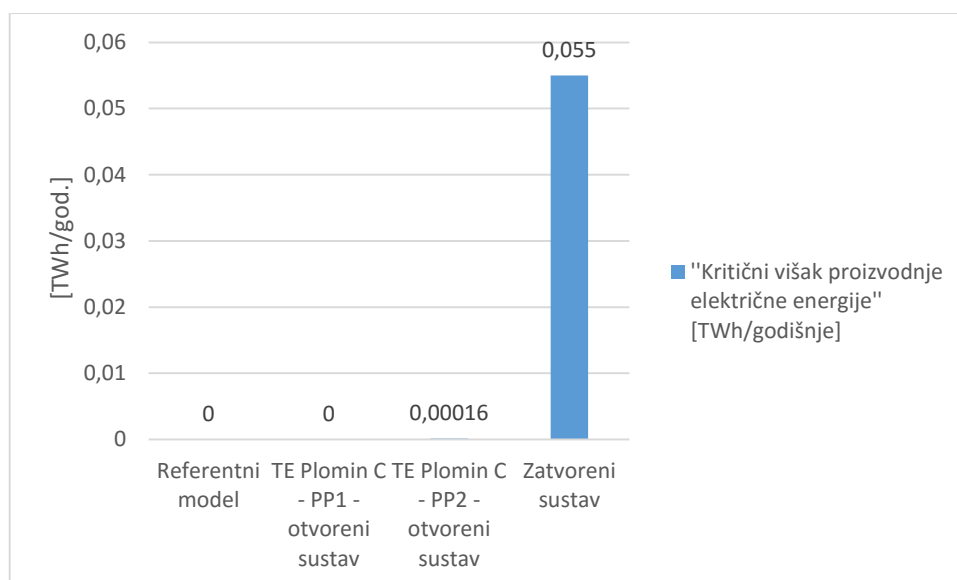
Slika 24. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [TWh/god.]



Slika 25. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.]

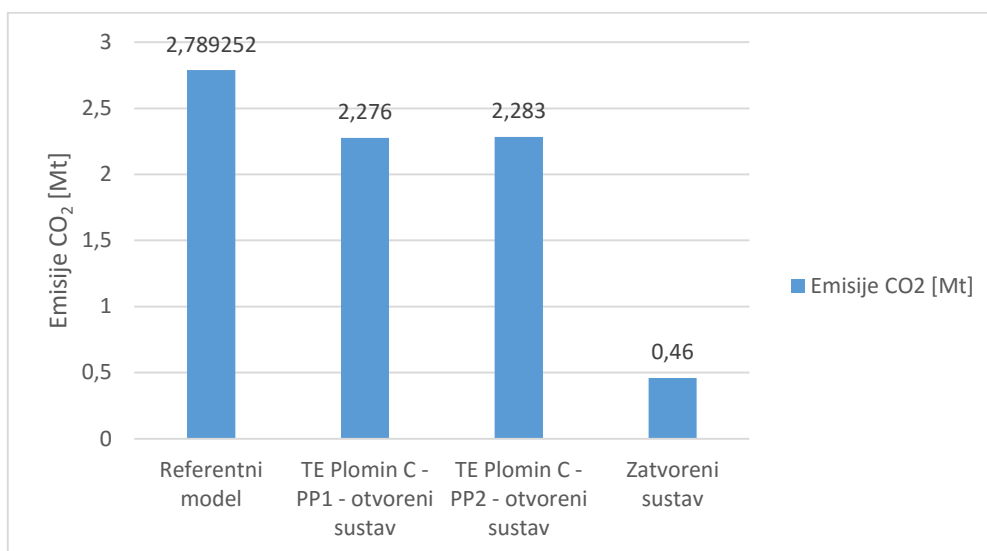


Slika 26. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.]



Slika 27. Usporedba CEEP-a [TWh/god.]



Slika 28. Usporedba emisija CO<sub>2</sub> [TWh/god.]

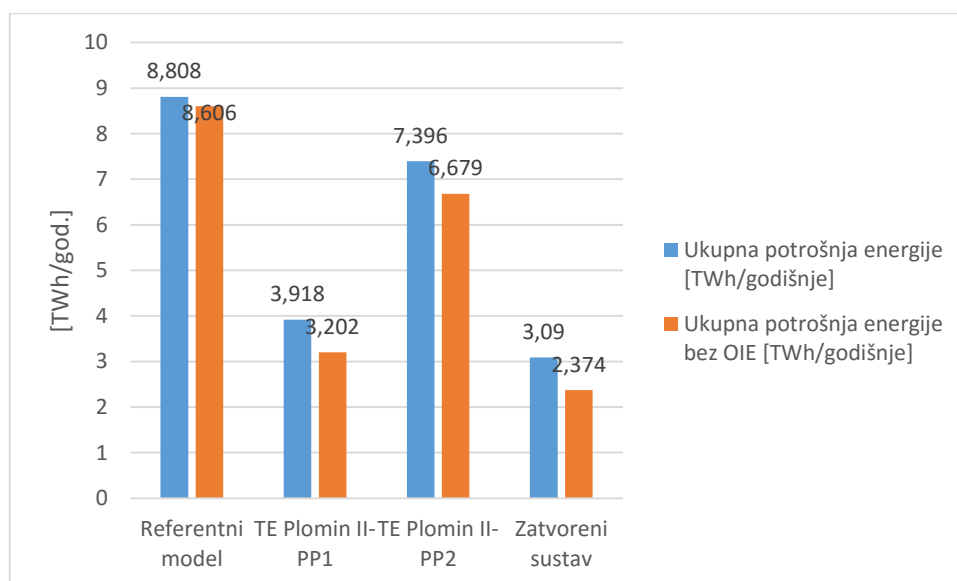
#### 4.4. Scenarij za 2030. godinu bez gradnje Plomina C

Rezultati scenarija prikazani su u tablici 16.

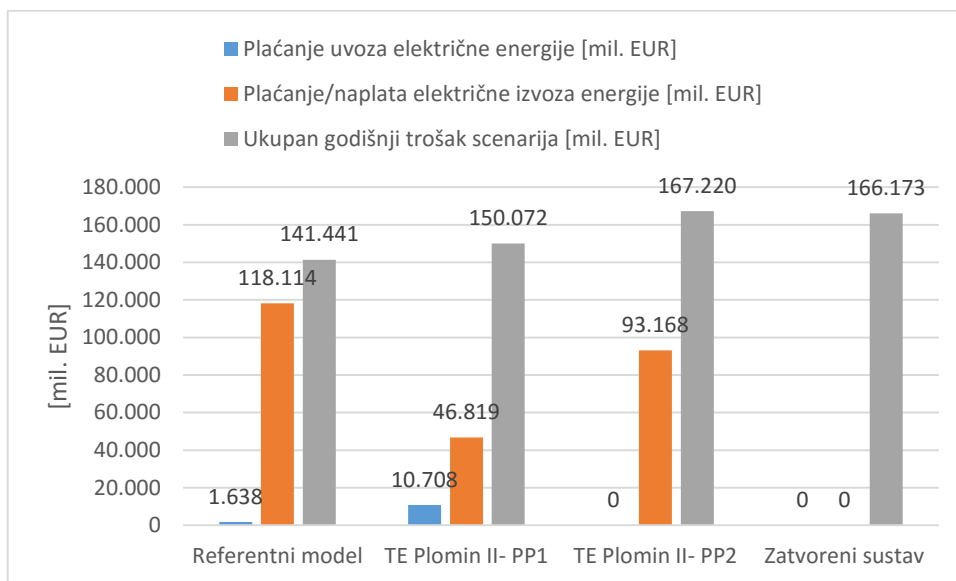
Tablica 16. Rezultati scenarija za 2030. godinu, bez Plomina C

	Otvoreni sustav		Zatvoreni sustav
	TE Plomin II- PP1	TE Plomin II- PP2	
"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0	0	0,05514
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	3,918	7,396	3,09
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	3,202	6,679	2,374
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,639	0,639	0,637
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0,242	0	0
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	0,606	1,616	0
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	1,284	2,183	0,668
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	10.708	0	0
Plaćanje/naplata električne izvoza energije [mil. EUR]	46.819	93.168	0
Ukupan godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	150.072	167.220	166.173

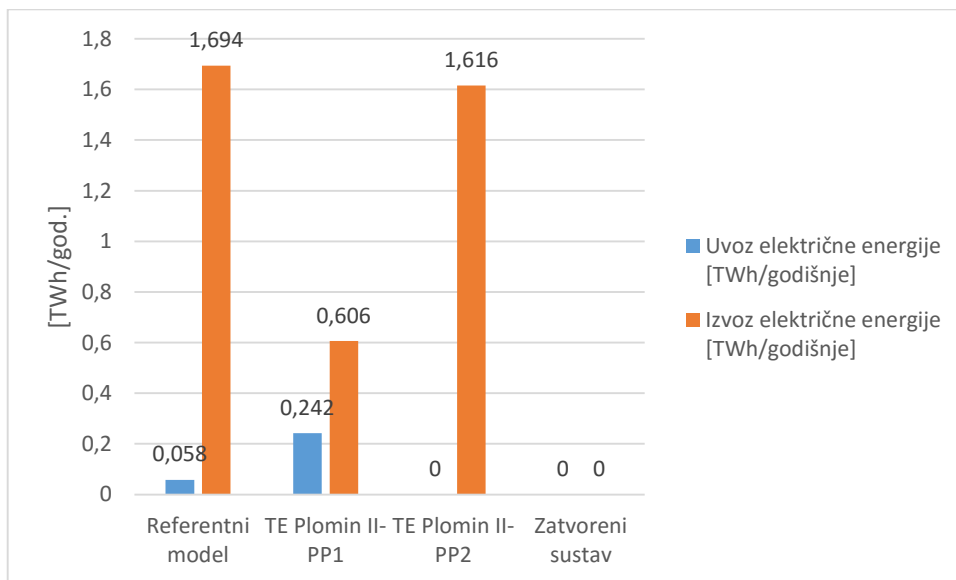
Najmanji ukupni troškovi ovog scenarija su prilikom rada blokova I i II kao PP1 u otvorenom sustavu. Doduše, izvozi se manje i dobici od uvoza su manji nego u slučaju kada blokovi I i II rade kao PP2, ali su ukupna potrošnja energije i sami troškovi održavanja pogona manji. U tom slučaju postoji i uvoz energije u iznosu od 0,242 TWh/godišnje. Emisije CO<sub>2</sub> su najmanje kod zatvorenog elektroenergetskog sustava jer se tada najmanje energije proizvodi, odnosno elektrana najmanje vremena radi pošto zadovoljava samo potražnju energije vlastite mreže. Proizvodnja energije iz OIE je ista u svim slučajevima rada blokova I i II.



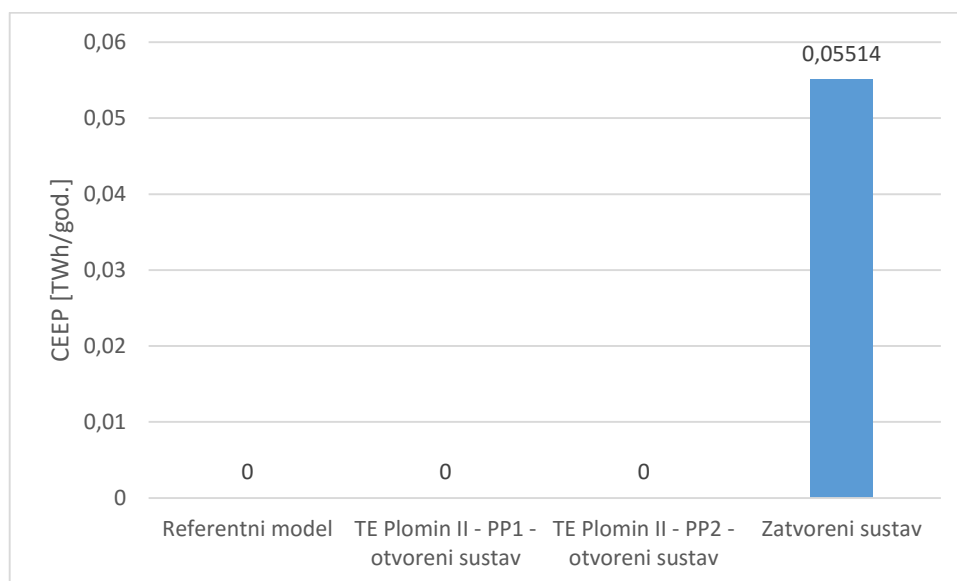
Slika 29. Potrošnja energije sa i bez OIE [TWh/god.]



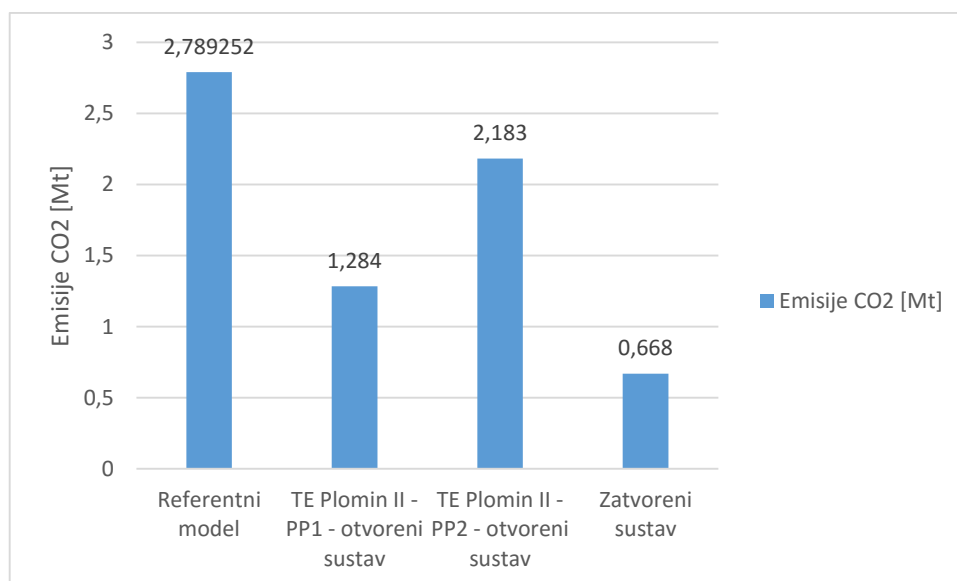
Slika 30. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [mil. EUR]



Slika 31. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.]



Slika 32. Usporedba CEEP-a [TWh/god.]

Slika 33. Usporedba emisija CO<sub>2</sub> [Mt]

#### 4.5. Usporedba scenarija za 2030. godinu

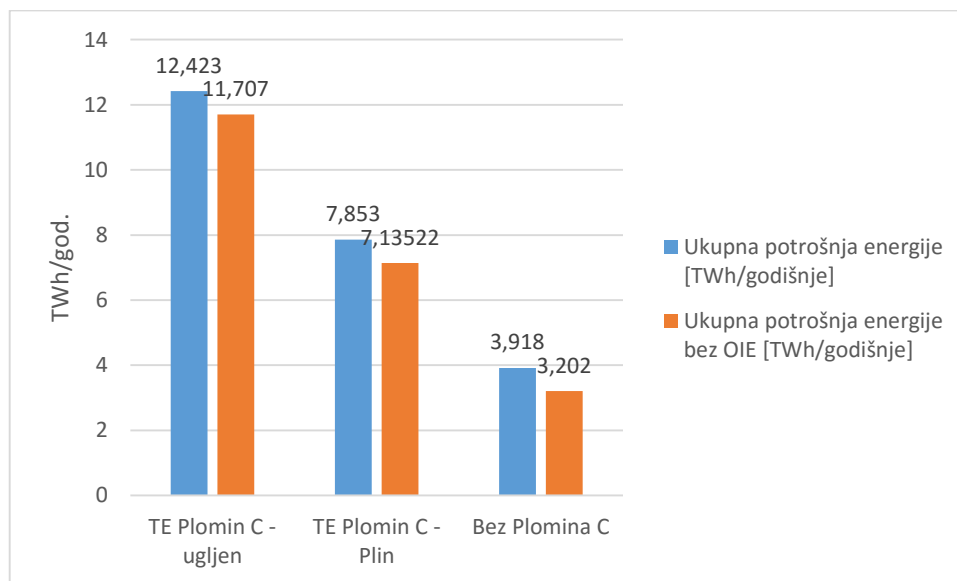
U usporedbu scenarija za 2030. godinu uzeti su u obzir najpovoljniji prethodno navedeni slučajevi svakog pojedinog scenarija otvorenih elektroenergetskih sustava. Napravljena je i međusobna usporedba zatvorenih elektroenergetskih sustava.

##### 4.5.1. Otvoreni elektroenergetski sustav

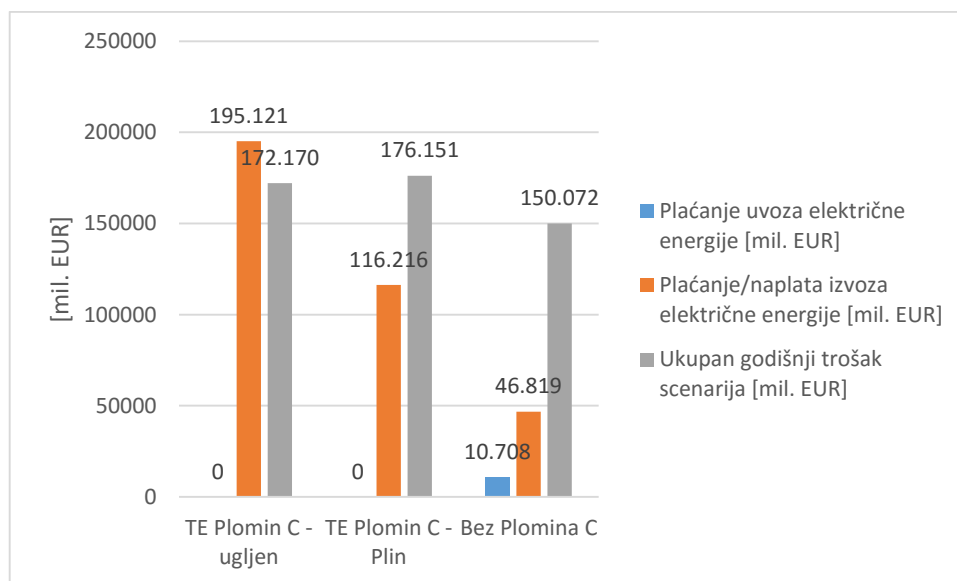
Tablica 17. Usporedba scenarija za 2030. god. - otvoreni elektroenergetski sustav

	TE Plomin C - ugljen	TE Plomin C - Plin	Bez Plomina C
"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0	0	0
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	12,423	7,853	3,918
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	11,707	7,13522	3,202
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,639	0,638	0,639
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0	0	0,242
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	3,415	1,889	0,606
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	3,974664	2,276	1,284
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	0	0	10.708
Plaćanje/naplata izvoza električne energije [mil. EUR]	195.121	116.216	46.819
Ukupan godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	172.170	176.151	150.072

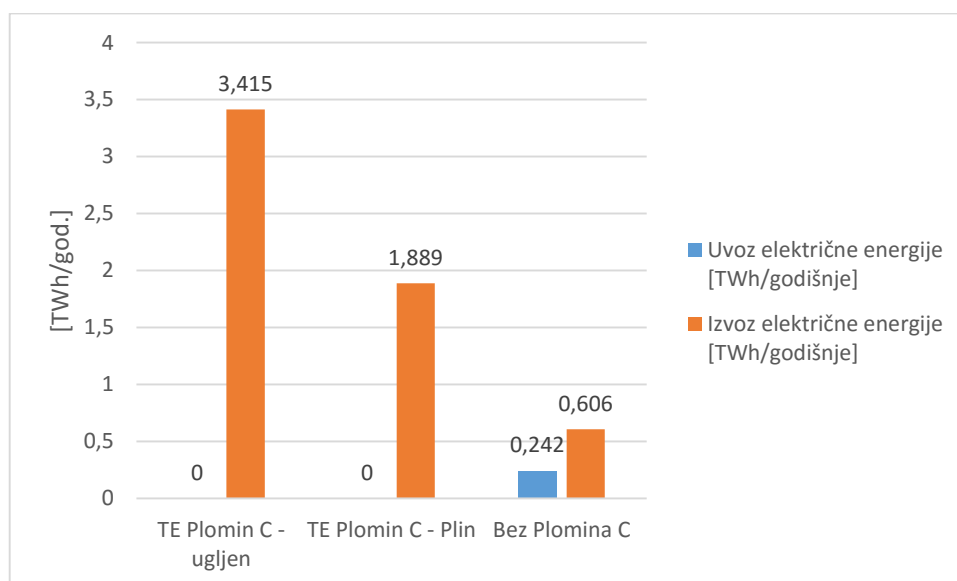
Troškovno je najpovoljniji scenarij bez gradnje Plomina C gdje ukupni troškovi iznose 150.072 mil. EUR. Također je u tom scenariju najmanja ukupna potrošnja energije. Emisije CO<sub>2</sub> su najmanje u tom scenariju zbog smanjene potrošnje energenata.



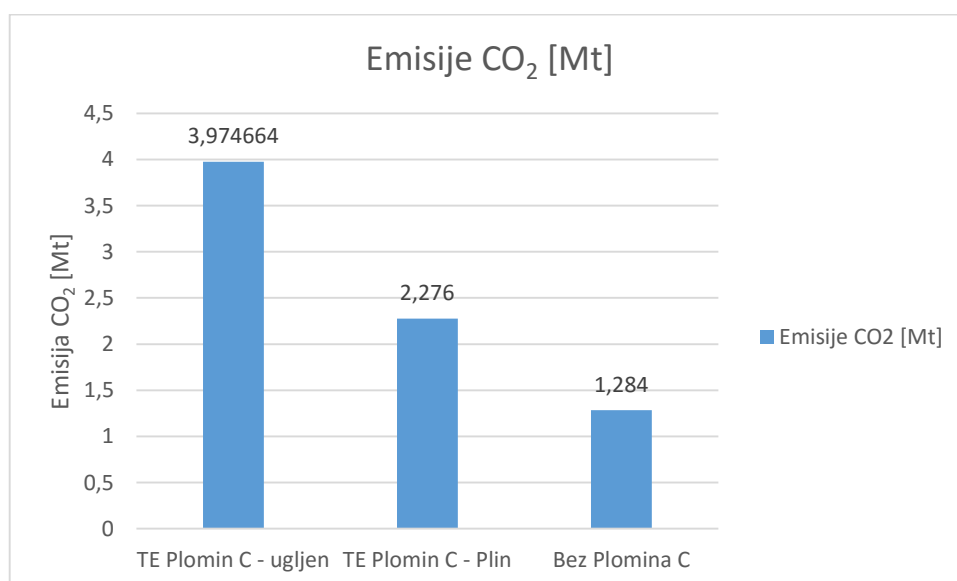
Slika 34. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.]



Slika 35. Usporedba ukupnih godišnjih troškova i naplate/plaćanja izvoza/uvoza [mil. EUR]



Slika 36. Usporedba uvoza/izvoza električne energije [TWh/god.]

Slika 37. Usporedba emisija CO<sub>2</sub> [Mt]

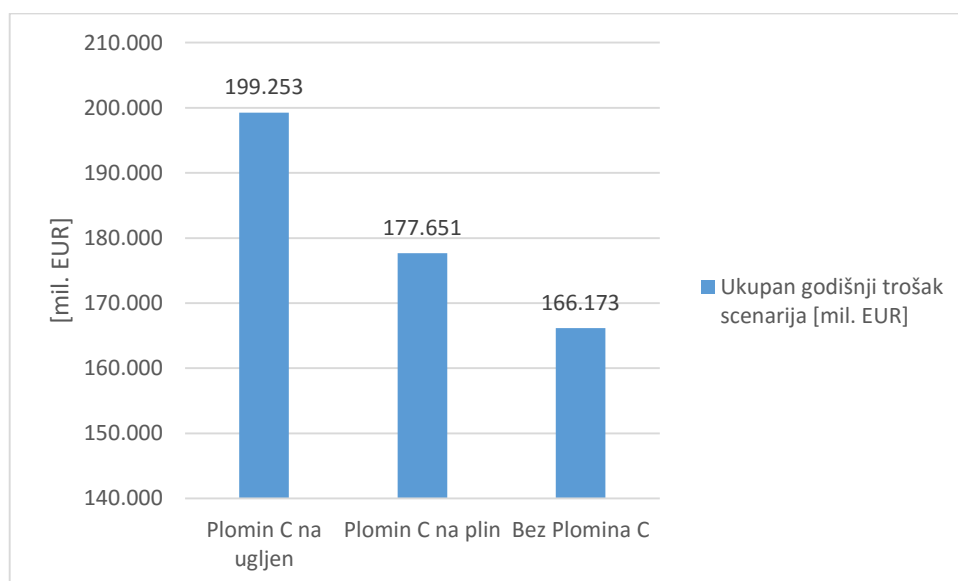
## 4.5.2. Zatvoreni elektroenergetski sustav

Tablica 18. Usporedba scenarija za 2030. god. - zatvoreni elektroenergetski sustav

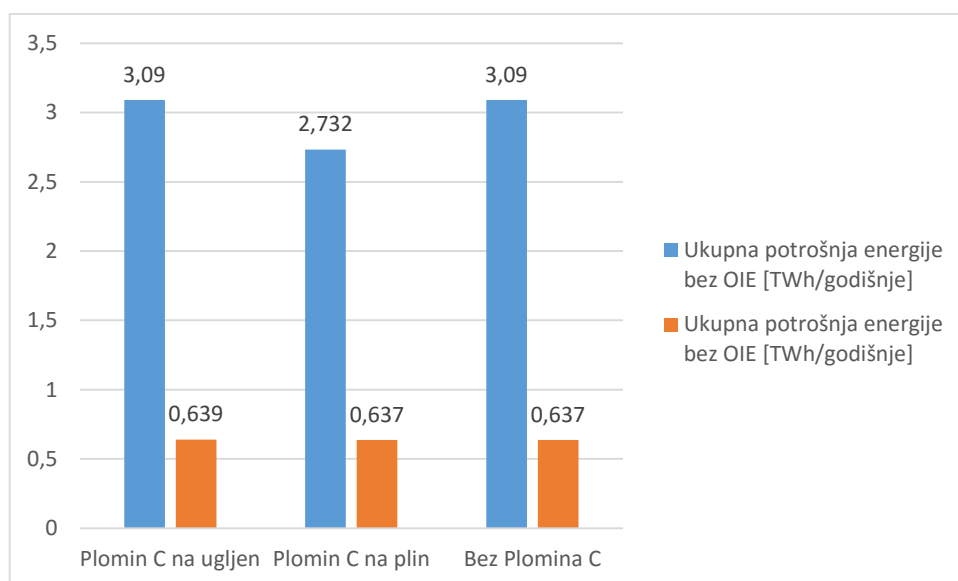
	<b>Plomin C na ugljen</b>	<b>Plomin C na plin</b>	<b>Bez Plomina C</b>
"Kritični višak proizvodnje električne energije" [TWh/godišnje]	0,055	0,055	0,05514
Ukupna potrošnja energije [TWh/godišnje]	3,09	2,732	3,09
Ukupna potrošnja energije bez OIE [TWh/godišnje]	2,374	2,515	2,374
Proizvodnja energije iz OIE [TWh/godišnje]	0,639	0,637	0,637
Uvoz električne energije [TWh/godišnje]	0	0	0
Izvoz električne energije [TWh/godišnje]	0	0	0
Emisije CO <sub>2</sub> [Mt]	0,668	0,46	0,668
Plaćanje uvoza električne energije [mil. EUR]	0	0	0
Plaćanje/naplata izvoza električne energije [mil. EUR]	0	0	0
Ukupan godišnji trošak scenarija [mil. EUR]	199.253	177.651	166.173

Iz međusobne usporedbe različitih scenarija prilikom tehničke simulacije zatvorenog sustava rezultati su približno jednaki. Emisija CO<sub>2</sub> je nešto manja kod TE Plomin C na plin, ali zbog same cijene plina pripadajući je scenarij nešto skuplji od ostalih.

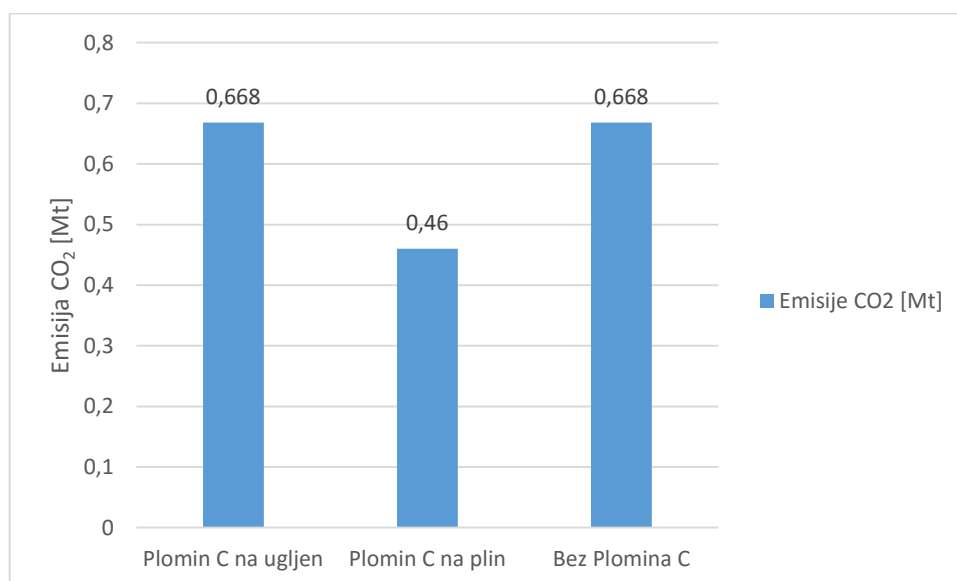




Slika 38. Usporedba ukupnog godišnjeg troška scenarija [mil. EUR]



Slika 39. Usporedba ukupne potrošnje energije sa i bez OIE [TWh/god.]

Slika 40. Usporedba emisija CO<sub>2</sub> [Mt]

## 5. ZAKLJUČAK

Razvoj energetskeg sustava Istarske županije do 2030. godine, uključujući referentni model iz 2012. godine, prikazan je u ukupno tri scenarija koristeći odrednice iz Zelenog plana Istre, uzimajući u obzir gradnju termoelektrane Plomin C na ugljen, plin i scenarij bez gradnje Plomina C.

Treba napomenuti kako razvijeni scenariji nisu u stvarnosti potpuno izvedivi jer se u scenarijima ne uzima u obzir prestanak rada termoelektrane u slučaju remonta što znači da PP1 radi nazivnom snagom cijele godine. Prema rezultatima iz EnergyPLAN-a potreba za toplinskom i električnom energijom Istarske županije u 2030. godini iznosi 836,64 GWh pokrivene su proizvodnjom energije iz OIE pa proizvodnja energije iz termoelektrane Plomin C u svim scenarijima služi za izvoz. Stoga zatvoreni elektroenergetski sustav bez izvoza energije nema previše smisla u ovim scenarijima. Uvoz električne energije postoji samo kod scenarija bez Plomina C i iznosi 0,242 TWh/god. Model u EnergyPLAN-u je pokazao da su ukupni troškovi scenarija bez TE Plomin C najmanji i iznose 150.072 mil. eura u odnosu na 172.170 mil. eura kod TE Plomin na ugljen, odnosno 176.151 mil. eura kod TE Plomin C na plin. Emisije CO<sub>2</sub> su najmanje u scenariju bez Plomina C i iznose 1,284 Mt, 68% manje nego u scenariju s Plominom C na ugljen, gdje emisije CO<sub>2</sub> iznose 3,97466 te je s ekološkog aspekta to prihvatljivije. Prilikom rada TE Plomin C na ugljen kao PP2 javljaju se velike emisije CO<sub>2</sub>, gotovo četvrtina ukupne emisije CO<sub>2</sub> u Hrvatskoj. Proizvodnja energije iz OIE je ista u svim scenarijima i iznosi 0,64 TWh/godišnje zato što EnergyPLAN prema postavkama najprije zadovoljava potrebe sustava za energijom iz OIE zbog manjih marginalnih troškova.

Nadalje, pokazano je da se gradnjom novog 400 kV-nog dalekovoda pospješuje izvoz i distribuciju energije kod otvorenog elektroenergetskog sustava i ta bi investicija stajala oko 25 mil. eura. Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) je prema desetogodišnjem planu razvoja hrvatske prijenosne mreže (2015.-2025.) predložio spajanje na 220 kV-nu mrežu pa je izgradnja 400 kV-nog dalekovoda upitna.

Zaključno, s obzirom da je ukupna potreba za energijom na razini županije zadovoljena proizvodnjom iz OIE energije, gradnja TE Plomin C nije potrebna jer se povećavaju emisije stakleničkih plinova, a u scenariju bez Plomina C u vidu otvorenog elektroenergetskog sustava izvozi se 0,606 TWh/godišnje i od toga zaradi 46.819 mil. eura.

## 6. LITERATURA

- [1] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Istarska\\_%C5%BEupanija#/media/File:CroatiaIstarska.png](https://hr.wikipedia.org/wiki/Istarska_%C5%BEupanija#/media/File:CroatiaIstarska.png)
- [2] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Istarska\\_%C5%BEupanija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Istarska_%C5%BEupanija)
- [3] <http://www.istra-istria.hr/index.php?id=1>
- [4] Županijska razvojna strategija Istarske županije 2011.-2013.
- [5] <http://www.dzs.hr/>
- [6] Krajačić Goran, Matak Nikola, Zeleni plan Istre, strateški plan održivog razvoja
- [7] Županijska razvojna strategija Istarske županije 2011.-2013.
- [8] <http://www.energyplan.eu/>
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrana\\_Plomin](https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrana_Plomin)
- [10] <http://oie.mingorp.hr/default.aspx?id=24>
- [11] Hubert Bašić, Zdenko Mahmutović, Željko Pavlin, Mogućnosti korištenja vodnog potencijala u strategiji energetskeg razvitka Republike Hrvatske, Zagreb 1999.
- [12] Upravni odjel za gospodarstvo, Istarska županija, Program energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji energije Istarske županije 2014. – 2016., Pula, (2014.)
- [13] <http://www.ipcc.ch/>

## 7. DODATAK

CD-R disk